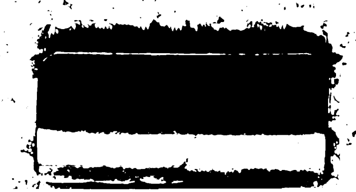

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE



DIE PRAKTISCHEN BEZIEHUNGEN

DER

KINEMATIK

ZU

GEOMETRIE UND MECHANIK

LEHRBUCH

DER

KINEMATIK

VON

PROF. DR. F. REULEAUX

GEH. REGIERUNGS-RATH

KORR. MITGLIED DES LOMBARDISCHEN INSTITUTES UND DES SCHWEDISCHEN GEWERBEVEREINS
AUSW. MITGLIED DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN STOCKHOLM
E.-M. D. SOC. DES ARTS GENF, D. NATF. GES. ZÜRICH, D. AM. PHILOS. SOC.
U. D. AM. SOC. OF MECHANICAL ENGINEERS
DER GEW.-VEREINE IN ERFURT, RIGA, FRANKFURT A. M. U. DER GES. FLORA KÖLN

ZWEITER BAND

DIE PRAKTISCHEN BEZIEHUNGEN DER KINEMATIK ZU GEOMETRIE UND MECHANIK

MIT 670 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND ZWEI ANGEHÄNGTEN TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1900

DIE PRAKTISCHEN BEZIEHUNGEN

DER

KINEMATIK

ZU

GEOMETRIE UND MECHANIK

VON

PROF. DR. F. REULEAUX
GEH. REGIERUNGS-RATH

MIT 670 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND ZWEI ANGEHÄNGTEN TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1900

Abbildungen
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig

VORREDE

Das vorliegende Buch soll den zweiten Band des Lehrbuches der Kinematik bilden, zu welchem meine „theoretische Kinematik“ den ersten Band vorstellt. Seit dem Erscheinen dieses Bandes ist ein Vierteljahrhundert dahingegangen, für den Verfasser in Mühe und Arbeit, um die kinematischen Grundsätze für die Maschinenpraxis zu ordnen und durchzuarbeiten. Davon waren im ersten Bande ausser der durchgeführten Zerlegung der Maschine in ihre letzten Elemente nur die Umrisse gegeben. Bruchstückweis habe ich aber dem technischen Publikum in meinem „Konstrukteur“ und in Zeitschriften Theile der fortschreitenden Ausarbeitung vorgelegt und in meinen Vorlesungen sie mitgetheilt. Im gegenwärtigen Buche nunmehr hat eine grundsätzliche Zusammenfassung alles des Erwähnten stattgefunden, dasselbe wird aber zugleich nach vielen Richtungen weit über das bereits Veröffentlichte hinaus bedeutend erweitert und vervollständigt vorgelegt.

Die Wissenschaft der Kinematik oder Zwanglauflehre, deren Grundsätze ich im ersten Bande, völlig abweichend von allen früheren Versuchen, aufgestellt und als für sich bestehend und ein hochwichtiges Denkgebiet sicher umfassend nachgewiesen habe, gewinnt langsam einen immer grösser werdenden Verbreitungskreis. Die hohen Schulen in England, Frankreich, Italien, Portugal, auch Russland, namentlich aber Amerika, d. h.

den Vereinigten Staaten, haben die neue wissenschaftliche Lehre, die sich so hülfreich bei zahlreichen Aufgaben erweist, warm aufgenommen. Bei uns hat jener Sinn, der das Neue mit besonderer Vorsicht aufnimmt, ihr erstaunlicherweis mancherlei Hindernisse in den Weg gelegt; indessen, diese werden sich überwinden lassen, wenn einmal das richtige Verständniss für die Sache erlangt sein wird, wenn allgemein verstanden wird, welche unerwarteten Erleichterungen die Kinematik dem Maschinen-Ingenieur bringt; dieses Verständniss herbeizuführen, ist die Hauptaufgabe des vorliegenden Bandes, indem er die „praktischen“ Beziehungen der Kinematik vorlegt und die erwähnten Erleichterungen kennen lehrt.

Der Titel des Bandes drückt sich noch vollständiger aus, indem er besagt, dass es sich um die Beziehungen „zu Geometrie und Mechanik“ handelt. Die Zwanglauflehre findet aber ihre theoretischen Ausgangspunkte gerade in diesen beiden Grundwissenschaften. Der „erste Abschnitt“ ist darum der Phoronomie oder Bewegungsgeometrie gewidmet.

Dieser Wissenszweig ist an sich nicht jung, wohl aber jung ist seine klare, durch Kant vorgeschlagene, Abtrennung von der älteren Geometrie, die man ihr gegenüber die ruhende nennen könnte. Die Cykloiden, begrifflich schon von den Alten betrachtet, näher mathematisch aber erst seit dem entdeckungsfrohen 17. Jahrhundert, traten damals, gerade wegen ihrer Erzeugung durch Bewegung, mit ihrem Formenreichthum wie eine neue geometrische Macht neben die altehrwürdigen Kegelschnitte auf den Plan. Dass die Beschäftigung mit ihnen bis in die jüngste Zeit nicht aufgehört hat erfolgreich zu sein, zeigt sich in den §§. 2 bis 19. Als Hauptbeispiel zur Phoronomie eignen sie sich vorzüglich, weil bei ihnen zahlreiche allgemeine Fragen von selbst Beantwortung finden.

Man sollte meinen, dass dritthalb Jahrhunderte Bearbeitung alle Aeusserlichkeiten ihrer Benennung und Eintheilung geregelt hätten. Das ist aber nicht der Fall. In §. 2 hatte ich darüber erst Vereinbarungen mit dem Leser vorzunehmen; es ist merkwürdig, wie wenig einig man bezeichnete und unterschied. Da nannte man, und nennt wohl noch, diejenige Cykloide, die gegen

eine ruhende Gerade beschrieben wird, „Cykloide“ kurzweg oder auch „gemeine Cykloide“, während doch „Cykloide“ dem Wortsinn nach das ganze Kurvengeschlecht umfassen musste, auch die Bezeichnung „gemein“ zwischen „verlängert“ und „verkürzt“ unentbehrlich war und ist. Schon 1882 hatte ich den Namen „Orthocykloide“ für den erwähnten Fall vorgeschlagen. Viele wollten die von Weissenborn als nothwendig erwiesene „Pericykloide“ nicht gelten lassen; man musste sie förmlich verfechten. Sodann bezeichnete man im englischen Sprachgebiet mit „verlängerter“ und „verkürzter“ Epi-, Hypo- usw. Cykloide genau das Gegentheil von dem, was wir in Deutschland in dem letzten Jahrhundert, wesentlich übereinstimmend mit Frankreich und Italien, darunter verstehen. Die Quelle dieser Verschiedenheit ist S. 11 u. 12 aufgezeigt. Unsre richtige Anschauung legte ich 1890 in der Zeitschrift der Deutschen Ingenieure ausführlich dar. Wir nennen „verlängerte“ Epi-, Hypo- usw. Cykloide diejenige, deren beschreibender Punkt durch Verlängerung des Rollkreishalbmessers zu erreichen ist, weil diese Kurve zugleich länger ist, als die vom Umfangspunkt beschriebene oder „gemeine“ Kurve, die ich gelegentlich auch Randbahn nenne. „Verkürzt“ nennen wir diejenige, deren beschreibender Punkt durch Verkürzung des Rollkreishalbmessers zu erreichen ist, weil die Kurve gleichzeitig kürzer ist, als die Randbahn. Das Verkürzen kann nicht weiter gehen, als bis zum Mittelpunkt des rollenden Kreises. Der Kreis, den dieser beschreibt, ist auch eine Cykloide. Sie ist die kürzeste von allen, was ich in Satz I S. 12 dahin ausdrückte, dass die Mittelsbahn, wie ich sie nannte, die konzentrirte oder kürzeste Cykloide sei und zwar $\pi/4$ der Länge der Randbahn zur Länge habe*).

Eine fernere Unterscheidung, die ich durchführte, ist die in „grosse“, „mittlere“ und „kleine“ Cykloiden in der Weise, die auf S. 13 näher angegeben ist. Der amerikanische geehrte Kollege Wilson von der Princeton-Universität**) schlug diese

*) Als Gedächtnissbrücke für die Randbahnlänge gut zu verwerthen.

**) In der Anmerkung S. 113 ist druckfehlerhaft Prof. Fergusson statt Prof. N. H. Wilson genannt; s. die Sache in dessen werthvollem Werke „Theoretical and practical graphics“, Princeton N. J. 1897, S. 266.

Unterscheidung für die Hypocykloiden vor; sie ist aber ebenso brauchbar für die übrigen Fälle, wie weiterhin vielfach gezeigt ist. Diejenigen Cykloiden, seien es gemeine, verlängerte oder verkürzte, die durch den Mittelpunkt des ruhenden Kreises gehen, nenne ich, wie schon im I. Band geschehen, homozentrische, deutsch nun auch „mittelsläufige" Kurven. Noch habe ich die „tropischen" Cykloiden besonders hervorgehoben (vergl. die Figg. 1 bis 5), solche nämlich, die einen oder auch mehrere Wendepunkte — Tropen kann man sie nennen — besitzen. Zahlreich sind die Anwendungen dieser und der anderen angedeuteten Unterscheidungen; alles daran ist geometrisch; aber gerade in Befolgung des rein geometrischen Weges werden die Eigenschaften der Cykloiden ungleich klarer als sonst. — Bemerkt sei bei dieser Gelegenheit, dass meine im I. Bande gewählte Bezeichnung „kardanische Kreise" für das Kreispaar mit innerer Berührung und dem Halbmesserverhältniss 1:2 allgemein Annahme gefunden hat.

Aus dem in §. 3 vorgeführten, bekannten Bobillier'schen (eigentlich Mannheim-Bobillier'schen) Satz für die Auffindung der Krümmungsmittelpunkte der ebenen Cykloiden, einem echt phoronomischen Satz, der durch gedachte Bewegung in seinen Figuren bündige kurze Schlüsse ermöglicht, habe ich noch einige, bis dahin unbeachtet gebliebene Folgerungen für die Schaaren der sog. Evoluten der Cykloiden gezogen, die erkennen lassen, dass deren Grössen eine geometrische Reihe bilden. Für gewisse Grenzfälle versagt der Bobillier'sche Satz*) auf dem Zeichenbrett. Indessen hat der jetzige Professor W. Hartmann, damals Kgl. Reg.-Baumeister, als mein Assistent einen phoronomischen Satz von ausgezeichneter Uebersichtlichkeit und Leistung angeschlossen, den ich als den Hartmann'schen Hülfssatz in §. 4 gesondert vorgeführt habe. Dieser Satz liefert nicht nur in allen Fällen die Möglichkeit zeichnerischer Lösung der Aufgabe,

*) Ich habe für denselben ein grosses, schönes Unterrichtsmodell für das kinematische Kabinet der Charlottenburger Hochschule hergestellt, an welchem man alle einzelnen Phasen des phoronomischen Vorganges ausgezeichnet klar vorführen kann. Es wird geliefert von der mechan. Werkstätte von G. Voigt, Berlin SO, Neuenburger Strasse 12, unter der Bezeichnung Krümmungsstrahlzeiger, Kat. II Nr. 96.

sondern klärt auch noch vieles Weitere auf. Er leitet über zu dem bekannten Savary'schen Satz (s. §. 5) von den Abschnitten der Krümmungsstrahlen, thut dies aber mit einer Einfachheit und geometrischen Klarheit, die ebenso überraschend als hülfreich ist und die Wendepunkte und „Wendekreise" der Cykloiden, die bis dahin nur mit besonderem Aufwand von höherer Geometrie erreichbar waren, in der allerschlichtesten Weise auffindbar macht.

Schon vorher hatte sich Baumeister W. Hartmann durch eine treffliche kinematische Schrift über die Lokomotiv-Tender-Kuppelungen (Berlin, Ernst & Korn, 1884) hervorgethan, worin er diese, praktisch sehr wichtige Aufgabe der Lagenführung (§. 51) vorzüglich gelöst hatte. An zahlreichen Lokomotiven spielt jetzt dieses Stück Kinematik geräuschlos seine Rolle.

Ausser zum Wendekreis führt der Hartmann'sche Hülfssatz auch noch zu einem anderen merkwürdigen Kreise, dessen Fahrstrahlen die Schnellen der sich bewegenden Geraden vergleichen lehren, weshalb ich rieth, den Kreis den Fahrtenkreis zu nennen*). Auch zeigte ich, dass man in Folge der Aufklärungen, die der Hartmann'sche zum Bobillier'schen Satz liefert, den Savary'schen Satz in eine neue, lehrreiche Form bringen kann (s. §. 7).

Nunmehr weise ich nach, dass auf Grund der besprochenen Sätze sich die Krümmungsstrahlen und die Längen aller gemeinen Cykloiden ohne Zuhülfenahme der Differenzialrechnung ermitteln lassen. Damit sind die Cykloiden dem gewerblichen Mittelunterricht in, so scheint mir, willkommener Weise näher gebracht.

Wie wichtig es war, die mittelsläufigen Cykloiden besonders herauszuheben, zeigt §. 10. Ich habe daselbst dargelegt, dass diese Kurven ausnahmslos Polarsinoiden sind, sodass uns nicht wundern darf, dass Grandi (1728) und Cramer (1750) sie in den, von ihnen betrachteten Einzelfällen als solche Kurven, nicht aber als Cykloiden erkannten. Weiterhin ist die (Parallel-) Sinoide in ihrem Zusammenhang mit der Orthocykloide besprochen; auch ist auf den, schon lange bekannten Satz eingegangen, dass gewisse Parallelprojektionen der gemeinen Schraubenlinie auf eine ebene Bildfläche Orthocykloiden sind. Ich habe dies noch dahin

*) Oerstedt führte „Fahrt" für Schnelle oder Geschwindigkeit ein.

erweitert, dass sich jedesmal zwei Bilder der Schraubenlinie als Orthocykloiden ergeben, auch ein Schaumodell — „Schraubenschattenzeiger“, zu beziehen von Schröder in Darmstadt — gebaut, welches ermöglicht, das alles im Unterricht zu zeigen.

Weiterhin, §. 13 und 14, werden solche ungemeine Cykloiden behandelt, die keine Wendepunkte haben, obwohl sie in welligem Verlauf eine Kreislinie umziehen. Ihre Krümmungsstrahlen sind stets nach dem Innern dieser Kreislinie gerichtet, immer sind sie in demselben Sinne, nur mehr oder weniger, gebogen. Ich habe sie deshalb Einbugkurven genannt, auch sie sind bisher nicht beachtet worden. Als ein wichtiges, weil auch astronomisch verwerthbares Beispiel ist eine entsprechend verkürzte 12tels-Epicykloide auf besonderem Blatt beigegeben.

Es folgen nun Erörterungen über „Evolute“ und „Involute“ und Zubehör, wobei ich zu den Benennungen Reiflinie und Stabbahn und einigen andern gelange. Dabei kommen mehrere Missverständnisse, gewisse Evoluten betreffend, zur Sprache, auch dass die sog. Asteroide oder Astroide keine für sich bestehende Kurve, sondern eine 4tels-Hypocykloide ist.

Danach ist die Verzeichnung der Cykloiden ausführlich behandelt, zuerst für das Kennenlernen der Kurven beim gebundenen Zeichnen, sodann für das genaue Verzeichnen kurzer Stücke derselben für deren technische Verwerthung, endlich für den Unterricht vor der schwarzen Tafel. Verschiedene, wie ich glaube wichtige Neuheiten werden dabei vorgeführt. Oftmals brauchbar möchte mein Verfahren sein, in einer und derselben Figur die Cykloiden zu vereinigen, die von demselben „Schreibkreis“ beschrieben werden (Figg. 56, 58 und 60), ebenso mein Verfahren, ganz unmittelbar eine der ungemeinen Cykloiden zu verzeichnen, wozu Fig. 62 ein gutes Beispiel gibt.

Verschiedenes Neue ist bei den „sphärischen Cykloiden“, die nun folgen, beigebracht. Wichtig scheint mir der, um die Formeln (26) bis (28) herum geführte Beweis von dem geometrischen Rollen der sog. Ergänzungskegel der Grundkegel. Tredgold begründete darauf die heutige, von ihm eingeführte Verzahnungsweise der Winkelräder. Ich habe im Text nun den vollständigen Beweis geführt, dass die Kantenlängen der Er-

gänzungskegel die Krümmungsstrahlen der aufeinander rollenden Flächenelemente der Grundkegel sind.

Es folgen nun mehrere andere Rollungsbeispiele, in denen die aufeinander rollenden Figuren nicht beide Kreise sind. Daran aber schliesst sich in §. 21 eine sehr wichtige Wendung, eine scharfe Ecke, mit Dahlmann zu reden, in dem Gedankengange des ganzen Abschnittes. Es wird nämlich hervorgehoben, dass es sich in all den betrachteten Fällen um „gegenseitige“ Rollung geometrischer Gebilde handle, nicht um sog. absolute Bewegung; es wird der Begriff ausgesondert, dass die Rollungen zweier Kurven aufeinander beiden Stücken gemeinsam und die Relativbewegungen der beiden Gebilde sind, sowie dass niemals eine derselben allein, sondern immer die eine neben oder mit der andern besteht. Relativbewegung heisst aber Ortsänderung in einem gegebenen Raumgebiet. Relativbewegung eines Gebildes A gegen ein Gebilde B heisst Bewegung von A im Raumgebiet B, Relativbewegung von B gegen A die Bewegung von B im Raumgebiet A. Es kann aber auch die Bewegung untersucht werden, die dasselbe B gegen ein Raumgebiet C hat.

Dies führt denn dazu, dass für die Cykloiden der höhere Unterricht (nicht der niedere!) von einem gewissen Punkte ab die Unterscheidung des „ruhenden“ und des „rollenden“ Kreises nicht festhalten kann oder doch nicht festhalten sollte, sondern dafür den Begriff klarzulegen hat: Relativbewegung von A gegen B und Relativbewegung von B gegen A. (Später wird man sagen dürfen, hoffe ich, „Bewegung“ von A gegen B und „Bewegung“ von B gegen A.) Damit fällt dann sofort der Streit wegen der Pericykloide zu Boden. Kleiner Kreis A in gleichebnigem grösserem Kreis B in rollender Berührung bedeutet: A beschreibt gegen B Hypocykloiden, B gleichzeitig gegen A Pericykloiden. Kreis A mit einer Geraden B in rollender Berührung heisst: A beschreibt gegen B Orthocykloiden, B gleichzeitig gegen A Cykloorthoiden (Kreisevolventen). Kreis A von aussen mit gleichebnigem Kreise B in rollender Berührung besagt: beide beschreiben gegeneinander Epicykloiden. Die zwei Fälle gehen hier in einen einzigen zusammen, sind nicht verschieden, wie vorhin; somit Gesammtzahl der Gattungen ebener Cykloiden 5, nicht 6.

Es wird nun übergegangen zur allgemeinen Betrachtung der Bewegungen als gegenseitiger Rollungen von Polbahnen und Axoiden, von denen Band I schon ausführlich gehandelt hat. Es ergeben sich überaus wichtige allgemeine Beziehungen. Als grossartiges Beispiel dienen die Bewegungen der Himmelskörper. Dabei zeigt sich als nunmehr unabweisbare Folgerung aus dem hervorgehobenen Satze, dass die herrschenden Anschauungen von der „scheinbaren" und der „wirklichen" Bewegung von Zentralkörpern, Planeten, Trabanten usw. phoronomisch unhaltbar sind, dass sie die Geister nicht aufgeklärt, sondern nur in neue Verwirrung gestürzt haben und deshalb durch das Richtige ersetzt werden sollten. Gegen die Erde bewegt sich der Mond (nahezu) in einem Kreise, gegen die Sonne bewegt sich derselbe Mond ähnlich wie in einer 12tels-Epicykloide, deren die Tafel zu S. 50 eine darstellt, nicht scheinbar, sondern wirklich in beiden Fällen. Warum sollte das der Gymnasiast nicht verstehen? Die Sonne bewegt sich „relativ zur Erde" oder „gegen die Erde" in einer in Jahresfrist durchlaufenen sphäroidischen Bahn, die Fig. 98 grob darstellt und die Tycho schon sah, die aber durch ein ausgezeichnetes kinematisches Modell (in der Hochschul-Sammlung) ebenso dargestellt wird in übertreibender Projektion, wie die elliptische Bahn des Erdmittelpunktes gegen dieselbe Sonne*). — Nachdem dann auch die Vorrückung der Nachtgleichen als Relativbewegung besprochen worden, kommt es in §. 27 zu dem Schlusssatz: „Alle Bewegung ist für uns Relativbewegung", d. h. also: die sog. absolute Bewegung ist für die höhere Lehrstufe das Einschiebsel, das Unechte, das durch Uebereinkunft nur geduldete Hülfsmittel; gesehen, beobachtet, gemessen, sinnlich erfasst wird bloss Relativbewegung.

Vor dem Schluss des ersten Abschnittes ist noch der neueren Schulauffassung eine längere Betrachtung gewidmet. Unter Schule ist die technische Hochschule verstanden und an ihr wiederum selbstverständlich die Maschinenabtheilung, da nur von ihr die Phoronomie wesentlich gebraucht wird. Es ist beachtenswerth, dass in den letzten Jahren durch alle Hochschul-Lehren wie ein

*) In G. Voigts Katalog II trägt das ausgezeichnet lehrreiche Modell die Nummer 99.

Sturm der Gedanke von dem sog. „Praktischen“ gezogen ist. Alles soll möglichst unmittelbar aufs Anwenden, auf die ausübende Thätigkeit bezogen werden, das „Theoretische“ sei zurückzustellen. Das gefällt Vielen und hat einen gewissen Anschein für sich, obgleich es unrichtig ist. Auch gefiel es mehreren Unterrichtsverwaltungen, denen doch die unphilologischen technischen Fächer so neu waren, dass sie ohne eigenes Urtheil den sich anbietenden „praktischen“ Rathgebern folgen mussten; und das hat denn im eigentlichen Maschinen-Unterricht zu den im Text besprochenen Aenderungen geführt, die wieder das Vorbild, das für die Mittelschule ganz richtig ist, an die Stelle der gerade in frischer Entwicklung aufblühenden Gesetzforschung gerückt haben. Dass man auf dem Vorbildwege auch einen brauchbaren Techniker ausbilden kann, zeigt ja der so sehr wichtige „mittlere“ Unterricht; entschieden nach diesem hin verschiebt ja die Neuerung den Hochunterricht wieder. Der höchste Unterricht wird aber immer nur der sein dürfen, der den ursächlichen Zusammenhang zu ergründen sucht und aus diesem heraus den Einzelfall verstehen lehrt. Die empirische Betrachtung der Dinge findet, wie Noiré sehr richtig sagt, nur Theile ohne ein Ganzes. Als ein, eigentlich zu hohes Beispiel können die „Kepler'schen Gesetze“ dienen. Mit ihnen, die mit ungeheuren edlen Anstrengungen, aber immerhin empirisch ermittelt wurden, kann die Sternlehre einen grossen Theil ihrer Aufgaben ganz gut erfüllen. Aber sie stehen lose nebeneinander, standen auch zu ihrer Findungszeit ausserhalb des menschlichen Geistes, waren bloss angeschaut, nicht in uns aufgenommen. Als darauf aber das Naturgesetz von der Schwere erkannt worden war, rückten sie im Triumph ein in den menschlichen Geist, ergaben sich als eng verbundene Folgerungen und halfen da erst den Himmelsraum erschliessen. So gut wie mit ihnen, deren Heranziehung aus ihrer Höhe für einen Augenblick gestattet sein möge, Vorzügliches für die astronomische Praxis erreicht werden kann, so auch mit dem Vorbild für den Maschinenbau. Dieses Vorbild gehorcht wissenschaftlichem Gesetz, ist aber nicht entfernt dieses selbst. Man weiss das auch im Kreise der Befürworter ganz gut. Beachtenswerth ist dabei, dass die Elektrik sich nicht hat bereit

finden lassen, die Vorbildstufe als die oberste anzusehen; sie weiss ja genau, was sie der strengen idealen Forschung verdankt, und betheiligt sich lieber an ihr, statt sie abzuweisen. Ich bezweifle nicht, dass nach einer, leider vielleicht längeren Probirzeit man wieder allgemein sich der wissenschaftlichen Auffassung der Aufgabe zuwenden wird*). Wie muthet es gegenüber dem Wegschieben der Theorie an, wenn man in Billroths Briefen (Nr. 25, an His) liest, wie dieser ausgezeichnete Chirurg und Mensch nach verantwortungsvollen chirurgischen Eingriffen immer wieder das Bedürfniss nach „positiven Forschungen“ fühlt und stets aufs neue zum Mikroskop greift ..... „da haben Sie die Ursache, weshalb mir meine anatomischen Arbeiten lieb sind und immer lieber werden“. Erfreulich zu bemerken ist, dass die Praxis selbst diese Auffassung von der Theorie nicht aufgegeben hat, wie zwei neuere umfangreiche Arbeiten über die „Verzahnungen“ beweisen, die eine in der Zeitschrift der Deutschen Ingenieure erschienen, die andere von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft veranlasst und veröffentlicht. Die starken Anforderungen, die die Elektrik an die Zahnräder stellt, haben die, stets noch vorhandene theoretische Unterströmung ans Licht treten lassen. Darum werden auch wohl die, jüngst wieder erneuten trüben Angriffe auf die Verhältnisszahlen nicht allzu tief wirken. Der Vertreter der Mafs-Harmonie in den Schöpfungen der Architekten, Bauingenieure und Schiffbauer, die da wegbewiesen werden müssten, sind doch gar zu viele bis hinauf zu Pythagoras.

Merkwürdig ist, wie weit die Meinungen derjenigen, die die „praktische Wissenschaft“ durchführen wollen, auseinandergehen. In Amerika ist der Ruf nach Neugliederung des höheren technischen Unterrichts auch sehr laut geworden; sorgfältige Arbeiten und Vorschläge liegen vor; worin man aber dort ganz einmüthig ist, das ist, dass die Lehrwerkstätten in den Hochschulen noch weit mehr als bisher auszubilden seien. Bei uns dagegen ist man

*) Wie z. B. seitens der studirenden Jugend bei der darstellenden Geometrie, dieser trefflichen, erhellenden Theorie des Zeichnens geschehen, deren Hörsäle gleich nach dem Einsetzen der neuen Richtung von selbst ganz bedenklich leer wurden, nach dreijährigem Auskosten der Theoriefreiheit sich aber nun wieder stärker gefüllt haben, als je zuvor.

gegen die Lehrwerkstätten; die Kenntniss der praktischen Arbeiten soll ausserhalb der Schule, so sagt man, erworben werden. Das erstreckt sich im Deutschen Reich bis auf die Werkmeisterschulen herab, während Oesterreich für diese und verwandte Schulen die Lehrwerkstatt für durchaus wichtig und erspriesslich hält. Die Amerikaner sind ausserdem zu dem Schluss gekommen, dass der Mittelunterricht, der die Werkmeister und Vormänner erzieht, jedenfalls der wichtigere sei, nämlich dass eine geringe Zahl vollständig durch- und ausgebildeter Ingenieure überhaupt genüge. Bei uns ist dagegen die Hochschule, die die letzteren zu bilden ja die Hauptaufgabe hat, geradezu überlaufen. Auch bei uns wird übrigens die Nothwendigkeit, dem mittleren Unterricht mehr Anstalten zu widmen, empfunden. Wünschbar wäre, nachdem die Ingenieure gesprochen, auch einmal die Ansichten der Schulmänner der sog. exakten Wissenschaften kennen zu lernen, obschon sie jetzt in der „Minderheit“ sind.

* * *

Während im ersten Abschnitt besprochen wird, wie sich irgend eine Relativbewegung geometrisch verfolgen lässt, wobei sich die Rollung von Kurven und Axoiden aufeinander als von so grosser lehrhafter Bedeutung erweist, wird im zweiten die ganz andere Frage behandelt, wie eine solche, phoronomisch bekannte Relativbewegung wirklich zu Stande kommt, wie sie erzwungen werden kann. Die Phoronomie zeigt uns beispielsweis genau, welche Bahnen alle Strahlen zweier Kreise gegeneinander beschreiben, die aufeinander rollen, aber wie dieses Rollen zu Stande kommt, das sagt sie nicht, das untersucht sie nicht; das zu sagen, ist auch nicht ihre Aufgabe, sondern diejenige der Zwanglauflehre oder Kinematik. In beiden Gebieten, in Phoronomie und Kinematik kann die Aufgabe der rollenden Kreise vorkommen, ist aber dann doch etwas ganz Verschiedenes. Das Rollen kann durch Verzahnung, durch Trackwicklung, durch Gestängewerk und noch anders zu Stande kommen*), also durch

*) In den Cykloiden-Modellen der kin. Sammlung (bei G. Voigt, Kat. I R_1 bis R_7 und Kat. II, Nr. 92 bis 102) habe ich nicht bloss den Cykloidenverlauf selbst, sondern auch die Erzwingung der Kreisrollung durch die verschiedenen erwähnten Mittel deutlich vor Augen geführt.

ganz verschiedene Zwangsmittel, ist danach aber phoronomisch jedesmal ganz dasselbe. An dieser Stelle der phoronomischen Gleichheit bei kinematischer Verschiedenheit sind gar Viele gestrauchelt und haben dadurch Vermengung und Verwirrung der Aufgaben herbeigeführt, was oft ein schweres Hinderniss der lehrhaften Entwicklung geworden ist. Dass es eine Lehre von der Bewegungserzwingung geben müsse, hatten Monge und Hâchette vor eilf Jahrzehnten bemerkt und hatte Ampère vor sieben Jahrzehnten in wissenschaftlicher Form zum Ausdruck gebracht. Das hatte nun zwar zu Aufzeichnungen von Beispielen, aber nicht zur wirklichen Theorie geführt; diese blieb zunächst noch ausstehen. Den ganzen gedanklichen Vorgang habe ich indessen in den §§. 28 bis 30 geschildert.

In §. 31 bin ich sodann zu meiner, im I. Band schon dargelegten, hier begrifflich nochmals geklärten Zerlegung der Maschine in ihre kinematischen Elemente übergegangen. Dabei ergeben sich wie früher nur drei Arten von Elementen; starre Elemente, Zugelemente, Druckelemente, und, da es das Wesen dieser Elemente ist, wie in Band I ausführlich gezeigt wurde, nur in Paarung vorzukommen, nur sechs Arten der Elementenpaarung für alle zwangläufigen Maschinenbewegungen.

Das blosse theoretische Aussprechen der so merkwürdigen Thatsache von dieser Kleinheit der Artenzahl genügt nicht, um die damit erreichbare Klarheit recht begreiflich zu machen. Ich habe das oft bemerkt und deshalb hier durch Beispiele, die dem ganzen weiten Gebiet entnommen sind, deutlich und verständlich zu werden gesucht, habe auch diesen selben Gedanken von der Erläuterung durch Beispiele weiterhin durch den ganzen zweiten Abschnitt festgehalten. — In §. 32 wird der „Kraftschluss“ behandelt, der „statt der inneren, in den Körpern verborgenen Kräfte äussere Kräfte in Bereitschaft hält, um unerwünschten Relativbewegungen vorzubeugen“ (vergl. Bd. I). Sodann werden in §. 33 die kinematischen Ketten in zwar kurzer, aber, wie ich aus Erfahrung weiss, wichtiger Uebersicht behandelt und darauf in §. 34 im Mechanismus weiter verfolgt. Meine Begriffsbestimmung des letzteren, die man wiederholt missverstanden hat, habe ich in §. 35 noch einmal eingehend behandelt. Ich schiebe hier

ein, dass ich, um kurz sein zu können, im Verlauf die Zugelemente „Tracke“ und die Druckelemente „Flude“ benannt habe.

So weit gekommen, war es Zeit, Geschichtliches über einige mechanische Vorrichtungen im Lichte der Kinematik, wie in §. 36 geschehen, beizubringen. Es ist merkwürdig, wie ungenau und oft verwaschen die auf diesem wenig gepflegten Gebiet herrschenden Anschauungen sind, die unter anderm nicht aufhören wollen, von der Erfindung des „Hebels“ durch Archimedes zu fabeln (vergl. auch S. 727). Zwei grosse antike Koloss-Schleppungen geben gute Aufschlüsse, u. a. dass viele Hunderte von Jahren vor Archimed schon mächtige „Hebel“ angewandt wurden. Wie selbst die bekannte „Heureka“-Angelegenheit Archimeds missverstanden wird bis heute, ist S. 196 ff. gezeigt. Die Hebelfabel setzt namentlich in Betreff der Abschleppung der „Syrakusia“ ein mit allerlei dunkeln Vermuthungen und nacherzählten Aussprüchen. Dass aber Nachrichten aus dem Alterthum über Archimeds Geräth zum Bewegen des schweren Schiffsrumpfes uns überliefert sind, hat man ganz übersehen; das Geräth war eine ehrliche Zahnräderwinde, betrieben mittelst Schraube ohne Ende von einer Kurbelwelle aus. Abbildung der Winde habe ich S. 201 und 202 nach der antiken Quelle wiedergegeben. Weiterhin habe ich die berühmte Aufrichtung des vatikanischen Obelisken durch Fontana (1586) an der 800 Mann und 140 Pferde mitwirkten, verglichen mit der Niederlegung und Aufrichtung des Obelisken von Luksor (1831 und 1836) ausgeführt durch Mimerel mit 30 Mann. Ich zeige, dass dieser gewaltige Unterschied im Grunde daher rührte, dass Mimerel kinematisch verfuhr, Fontana aber nicht.

In §. 37 wird nun die Maschine als solche an zahlreichen, sehr verschiedenen Beispielen besprochen und gleichsam von aussen betrachtet, worauf aber dann in §. 38 zu ihrer Begriffsbestimmung, obgleich diese schon im I. Bande vollständig gegeben war, geschritten wird. Ich hielt mich dabei für verpflichtet, Einwände, die gegen sie erhoben worden waren, mit aller Sorgfalt zu prüfen. Das Ergebniss ist, dass die Einwände unhaltbar waren, und dass die im I. Band gegebene Begriffsbestimmung richtig ist. Erstaunlich ist, dass in dieser, für alle Maschinen-

kenner gleich wichtigen Angelegenheit nur Gegnerschaft, nie Mitarbeit auftrat. Ich gebe mich der Hoffnung hin, dass nun, nach so langer Erfahrung der praktische Sinn der Praktiker die positive, die mitwirkende Richtung empfehlen werde.

Eine wichtige Neuheit bilden sodann die, in §. 39 hervorgehobenen zwei weiteren Arten der Analysirung der Maschine. An die, aus dem I. Bande bekannte und auf S. 150 wiederum besprochene „Elementar-Analyse“ schliesse ich zunächst die „Bau-Analyse“ an, die eine allmählich bemerkbar gewordene Lücke ausfüllt, nämlich zeigt, wie mit „übermässig geschlossenen“ Elementenpaaren und kinematischen Ketten feste Bautheile hergestellt werden. Schon im I. Band wurden die Fälle erwähnt, aber nicht ausführlich genug. Die hier herangezogenen Beispiele sind zahl- und lehrreich. Die grosse Reihe der festen Verbindungen mit Nieten, Schrauben, Keilen, Zwängungen, dabei auch die, einst von mir mit dem Namen Sicherungen belegten Vorkehrungen, sind solche übermässig geschlossene Paare oder Ketten und treten nun in die Reihe hinein. Der Begriff geht aber auch noch in das Fach des Bauingenieurs ein, wo nämlich Dachstühle, Brückenträger, Ständer, Pfeiler usw. sich als übermässig geschlossene kinematische Ketten aus ganz denselben kinematischen Elementen, die die beweglichen Ketten liefern, herausstellen.

Eine dritte, für das Maschinenverständniss höchst wichtige Analysirung ist die „getriebliche Zerlegung oder Getriebe-Analyse“. Sie fasst nicht mehr einzelne Theile, sondern ganze Mechanismen oder Getriebe als Einheiten, als zusammentretende Theile eines Ganzen auf und ordnet sie nach den Zwecken ihres Zwanglaufes. Das liefert nun eine, von dem Ergebniss der Elementar-Analyse gänzlich verschiedene und klärende Uebersicht. Ich zeige in §. 39, dass sich viererlei Zwanglaufzwecke deutlich unterscheiden lassen; sie sind:

Leitung, Haltung, Treibung, Gestaltung.

Dieser Eintheilung, von der ich schon in meinem Konstrukteur einigemal Gebrauch gemacht habe, schliessen sich nun die Besprechungen der Mechanismen oder Getriebe fest an.

Die „Leitung“ der Bewegung ist in den §§. 41 bis 51 be-

handelt. Dieses Kapitel, von einer dem Anschein nach so einfachen Aufgabe handelnd, könnte Vergleichungen von merkwürdigem Ergebniss veranlassen, so unsicher, stumpf, schwankend und doch weitschweifig ist bisher sein Gegenstand behandelt worden, der dadurch obendrein den Nichtkennern die grobirrige Meinung beigebracht hat, diese ganze Kinematik bestehe doch bloss in der Austiftelung von ein paar Geradführungen. Wie stehen hier eingerostete Vorstellungen der Aufklärung entgegen! Laboulaye in seiner *Cinématique* behandelt die hier in Frage kommenden Mechanismen an verschiedenen Stellen nach dem alten, untauglichen Leitsatz von der Verwandlung der Bewegungen, demzufolge er die wenigen betrachteten Lenker-Geradführungen als *„combinaisons de vitesses“* ansieht, als ob das auch nur das Geringste hülfe. In England, oder vielmehr im englischen Sprachgebiet, hat eine verkehrte Benennung aus Watts Zeiten einen Wirrwarr ohne Gleichen angerichtet. Man nannte damals in unklarer Auffassung die Geradführungsgetriebe *„parallel motions“*, also Parallelführungen. Nun ist aber die Aufgabe, Punkte in Geraden zu führen, doch etwas ganz Anderes, als Linien in parallelen Lagen fortzubewegen. Demnach aber fehlen nun den Englischen wegen dieser verdrehten Bezeichnung — *„awkward“* nennt Willes sie — die Parallelführungen ganz, obwohl sie hier bei mir vier grosse §§. füllen und von höchster Wichtigkeit sind. Wie sieht es bei Redtenbacher (Bewegungsmechanismen) aus? Da werden ganze vier Lenker-Geradführungen beschrieben, werden aber genannt „Balanciers“; wohin soll das den Hörer führen? Dahin, woher es kam; nämlich, dass Redtenbacher in den Gelenkgeradführungen nur Theile von Dampfmaschinen erblickte, ihnen auch im Text den baldigen Untergang ankündigte, weil damals schon die Dampfmaschine vielfach mit andern Geradführungen gebaut wurde; inzwischen aber haben sich die Anwendungen der Gelenkgeradführungen für andere Zwecke verzehnfacht in Anwendungen. Parallelführungen bringt Redtenbacher drei an der Zahl, aber unter dem Titel „Schützenzüge“ (vergl. hier S. 316); alles Uebrige fehlt.

Man sieht, woher das alles kommt. Es fehlte ringsum an dem, was man Abstraktion nennt, an der Ablösung, Loslösung

von der Ausführungsform und dem Ausführungsort. Der losgelöste, auf sein engstes Wesen zurückgeführte Mechanismus ist womöglich zuerst, jedenfalls sehr früh zu behandeln, z. B. dem ersten Ausführungsbeispiel gleich anzuschliessen, wie auf S. 280 der Gruson'schen Kanone das Schema ihres Mechanismus von mir beigegeben ist. Aehnlich ist durchweg verfahren. Die Polbahnen zu den Gelenkgeradführungen S. 290 u. 291 werden meine ehemaligen Zuhörer wiedererkennen, aber wesentlich vervollständigt finden. Was die ablösende (abstrahirende) Auffassung bedeutet, geht aus der von mir schon früh angegebenen „Umkehrung“ der Lenkerführungen hervor, womit ich damals die Zahl der Lenkergeradführungen geradezu verdoppelte. Glänzend bewährt sich hier wieder die kinematische Sammlung. Wie durchweg habe ich auch hier den Gedanken der Abstraktion festgehalten. Fast alle Modelle haben das gleiche Gestell, die gleiche Grösse, dabei die einfachste Ausführung in den Gestängen, sind ausserdem so leicht, dass sie in der Vorlesung herumgereicht werden können. Auf diese Weise gelingt es, dem Hörer das Wesentliche jedes der Mechanismen in Anordnung und Spiel der Theile klar verständlich zu machen und einzuprägen. Das wird durch die sorgfältigste Namenwahl wirksam unterstützt.

Die Parallelführungen erweisen sich als eines der reichsten Gebiete der Leitung. Sehr nützlich ergibt sich ihre ablösende Behandlung bei den Waagen, namentlich den oberschaligen, gemäſs Untersuchungen von mir, die schon 1868 in den von meinen Zuhörern autographirten Vorträgen mitgetheilt sind. Die kaiserliche Normal-Aichungs-Kommission hat meine Waagen-Darstellung in ihre Untersuchungsvorschriften von 1885 aufgenommen. Es folgen, reich durch Beispiele erläutert, die sich an die Abstraktion anschliessen, zahlreiche Leitungsgetriebe mit Tracken und Fluden, sowie schliesslich Lagenführungen.

Die „Haltungen“ werden sodann in zwei ausgedehnten §§. behandelt. Der abgelöste, ausgesonderte Begriff der „Haltung“ war unbekannt, als ich ihn heraushob, Haltungen aber, d. i. mechanische Einrichtungen, die zum zeitweiligen Aufsammeln und Abgeben von Arbeitsvermögen, das an kinematisch geleitete Körper gebunden ist, geeignet sind, waren in grosser Zahl im Gebrauch;

nur hatte man sie nicht begrifflich ausgesondert. Weier für Wasser, Kessel für Dampf bildeten Aufspeicherungen für grosse und kleine Arbeitsabgaben*); das Schwungrad, der Schwungkugel-„Regulator“ für Dampfmaschinen, beides Haltungen für lebendige Kraft, waren tausendfältig im Gebrauch; bis in kleine Mechanismen hinein gieng derselbe Gedanke von einer Ansammlung, die unabhängig von der Abgabe von Arbeitsvermögen war. Erst die scharfe kinematische Untersuchung führte zur begrifflichen Loslösung der so wichtigen Einrichtung. Die „Akkumulatoren“ oder Druckhalter für Presswasser, oder Stromhalter für Elektrizität, Stahlzellen für Pressluft, Glocken für Gase aller Art und noch zahlreiche andere Haltungen werden besprochen und dienen jetzt der Technik; förmlich bedeckt mit den verschiedenartigsten Haltungen ist jetzt das Maschinengebiet, das gerade durch sie befähigt worden ist, sich immer weiter auszudehnen. Zahlreich sind auch die Fälle, und zugleich äusserst wichtig, in denen die Natur selbst Haltungen vom grössten Werth uns fertig darbietet.

Die kinematische Betrachtung der „Treibung“ geht sodann ein auf die Art und Weise, wie der, irgend einem Gliede der kinematischen Kette in einem Mechanismus mitgetheilte Zwanglauf auf die andern Glieder der Kette oder auf andere Mechanismen „übertragen“ wird, eine Aufgabe von ausserordentlicher Mannigfaltigkeit. Eines der wichtigsten Ergebnisse der hier angestellten Getriebs-Analyse ist, dass die Anzahl von Gattungen der zum „Treiben“ geeigneten Mechanismen, kurz genannt „Triebe“, nicht gross ist. Ich zeige, dass es dieser Gattungen nur sechs gibt:

Schrauben-, Kurbel-, Räder-, Rollen-, Kurven- und Gesperrtrieb,

während die äusserliche Betrachtung des Maschinengebietes den Eindruck macht, als müssten Hunderte von Trieben, überhaupt eine nicht zu zählende Menge derselben vorhanden sein. Die begriff-

*) Papins Dampfmaschine, mit der er ein Räderdampfboot trieb, hatte noch keinen Dampfkessel. Jüngst hat Direktor Haedicke im Programm der Remscheider Fachschule gezeigt, dass bei der „indirekt wirkenden Gaskraftmaschine“ für jeden Kolbenhub erst das Triebgas erzeugt wird, nicht vorräthig in der Haltung steckt.



liche Loslösung, die die Kinematik allein ermöglichte, führte zu dieser Vereinfachung.

Die genannten sechs Trieb-Gattungen werden nun in den §§. 54 bis 103 behandelt, zuerst jedesmal schematisch und dann sofort in Anwendungen und Beispielen. Es ergeben sich dabei sehr merkwürdige Neuheiten, Vereinzelungen, wo vieles zusammenzuhängen schien, Verallgemeinerungen, wo dem Anschein nach nur Einzelnes vorlag. Zahlreiche Grundbegriffe, die z. B. in Patentfragen eine wichtige Rolle spielen, konnten festgestellt und geordnet werden. Einige davon, namentlich die Gesperrtriebe betreffend, hatte ich in meinem „Konstrukteur" schon veröffentlicht. Hier tritt das alles in die grosse Reihe mit den anderen Triebgattungen zusammen.

Die „Gestaltung" ist in den §§. 104 bis 116 behandelt. Es zeigt sich, dass die kinematischen Grundsätze eine völlig neue Behandlungsweise der mechanischen Technologie empfehlenswerth machen. Der bisher festgehaltene Grundsatz, dass die Handtechnologie die Maschinentechnologie in sich schliesse, erweist sich bei der von mir angestellten Prüfung als nicht mehr haltbar, während das Ausgehen von den Lehrsätzen der Kinematik grossen Erfolg verspricht. Die Umrisse einer neuen „allgemeinen" mechanischen Technologie sind gezogen und zur Prüfung vorgelegt.

In dem ganzen, mit dieser Untersuchung abschliessenden zweiten Abschnitt erweist sich die Benutzung kinematischer Sammlungen als äusserst werthvoll und empfehlenswerth. Dies wird, wenn einmal richtig verstanden, die Zuweisung von Geldmitteln seitens der Unterrichtsbehörden unerlässlich machen. Zwei fast vollständige Wiederholungen meiner Sammlung hat Amerika angekauft, die eine das Sibley College in Ithaka, Staat Neuyork, die andere die rührige englische Universität in Montreal; beidemal wurden die Kosten von hochherzigen Industriellen getragen.

Der kurze dritte Abschnitt „Kinematik im Thierreich" betitelt, ist eine Studie, mit der ich mich nur an einen kleinen Bruchtheil der Ingenieure, mehr aber an die Physiologen wende. Unsere Maschineningenieure haben in ihrer Mehrheit bisher eine merkwürdige Scheu, geradezu eine Aengstlichkeit an den Tag

gelegt, ihre Grundwissenschaft, die für das Fach schon so vieles Dunkel erhellt hat, auf die Bewegungserscheinungen in der thierischen Schöpfung angewandt zu sehen, als ob es ein Fehler meiner Theorie wäre, dass sie die Zwangsbewegungen ohne Ausnahme betrifft, während doch gerade das als ein Kennzeichen ihrer Richtigkeit gelten dürfte. Ich bin aber weit entfernt, dem vielbeschäftigten Techniker im allgemeinen zuzumuthen, über die Grenzen seines bestimmten Fachtheiles hinaus sich mit Theorien zu plagen. Ein kleiner Theil thut dies aber, trotz der augenblicklich herrschenden „praktischen“ Richtung, ohnedies. Ihm sind die Bewegungen des wunderbaren Blutpumpwerkes, das unser Leben erhält und sein Klappenspiel bei Tag und Nacht nicht aus dem Gang kommen lässt, der Betrachtung als mechanischer Vorgänge wohl werth. Meine Studie zeigt, dass auch die Muskelthätigkeit, so weit ihre Wunder verständlich zu werden beginnen, mit den Maschinenbewegungen verwandt ist, weshalb ich sehr wünschte, meine Erklärungsversuche geprüft zu sehen. Und die Gelenkbewegungen mit ihrem auffälligen Spiel von gleitenden Flächen stehen den Leitungsaufgaben der Maschine erst recht nahe. Hat darum doch auch eine technische Hochschule (s. S. 724) sogar eine Preisaufgabe betreffend die Gelenke der Krebsbeine ausgeschrieben. Das von mir aufgezeigte, bisher unbemerkt gebliebene Vorkommen höchst vollkommener Schraubenpaarungen und ausserdem so merkwürdig gebauter Drehkörperpaare am Käferbein rückt die Thierkörpergelenke noch bedeutend näher an die Technik heran.

Die Physiologen auf der andern Seite sind seit lange in ausgezeichneten, mühevollen Arbeiten bestrebt, die geometrischen Gelenkformen, z. B. das Schraubengelenk am Ellbogen von zwei Millimeter Steigung, und anderes Maschinenwerk am thierischen Körper mit den Hülfslehren der Mechanik aufzuklären. Dabei helfen ihnen allerdings die altersgrauen Lehren von den „einfachen Maschinen“, von den „Hebeln“ erster, zweiter, dritter Art (vergl. S. 727) und anderm veraltetem Beiwerk nicht von der Stelle. Zwanglauflehre ist es, nichts Anderes, was sie eigentlich suchen. Ihren Wünschen war ich bestrebt, soviel es meine bescheidenen Kenntnisse vom Thierkörper gestatteten, entgegen-

zukommen. Ich glaube, dass bei klarer Einführung der Grundlehren von den Elementenpaarungen die thierische Gelenklehre wesentlich gewinnen kann, des weiteren aber auch die Lehre von den kinematischen Ketten und den Mechanismen die Arbeiten der Physiologen sehr zu erleichtern vermag.

Für den Kinematiker selbst ist es erhebend, die Gesetze seiner Wissenschaft im Naturganzen an so vielen Stellen walten zu sehen und zugleich die Gemeinsamkeit aller Wissenschaften bezüglich ihrer letzten Ziele auch hier ans Licht treten zu sehen. Somit glaube ich annehmen zu dürfen, dass die kleine Thierreichstudie ihm als eine Abrundung und Vervollständigung seines Wissensgebietes nicht unwillkommen sein werde.

Berlin, im April 1900

Der Verfasser

INHALT

Erster Abschnitt. Bewegungsgeometrie oder Phoronomie

Zweiter Abschnitt. Zwanglauflehre oder Kinematik

Dritter Abschnitt. Kinematik im Thierreich

ERSTER ABSCHNITT

BEWEGUNGSGEOMETRIE

ODER

PHORONOMIE

Bewegungsgeometrie oder Phoronomie

§. 1

Mechanik und Geometrie

Bei der erfreulichen Pflege, welche man an unseren technischen Hochschulen der Geometrie zu Theil werden lässt, hat man deren Verhältniss zur Mechanik und insbesondere zur Kinematik in letzterer Zeit häufig anders aufgefasst, als es ihrem inneren Wesen entspricht; dies gilt von Deutschland sowohl als von Frankreich. Neuere Veröffentlichungen scheinen bei uns die dadurch hervorgerufene Unsicherheit der Begriffe noch beträchtlich vergrössern zu sollen. Da dies in mehr als einer Beziehung unerwünscht ist, möchte ich versuchen, die Gründe der entstandenen Unklarheiten darzulegen. Hierzu scheint mir um so mehr Anlass vorzuliegen, als die dritte der oben genannten Wissenschaften, die Kinematik, zu den jüngsten gehört und deshalb unzutreffenden Urtheilen am ersten ausgesetzt ist. Indem ich diesen Versuch machen will, bin ich genöthigt, zuerst einige allgemeine und bekannte Sätze zu berühren, um von diesen, als einem gemeinsamen, unbestrittenen Boden aus vorgehen zu können. Ich werde aber dann bald auf die Einzelfragen, wegen deren die Meinungsverschiedenheiten aufgekommen sind, übergehen.

Die Mechanik ist die Wissenschaft von dem ursächlichen Zusammenhange der Bewegungen der Körper. Diese ihre Begriffsbestimmung, welche verschiedentlich ausgelegt werden könnte und manchmal auch wird, kann wohl von Jedem zugegeben werden, indem sie sowohl genügend allgemein genannt werden darf, als sich auch auf einen bestimmten Kreis von Aufgaben beschränkt, also nicht zu weit geht. Die Mechanik ist eine Er-

fahrungswissenschaft. Ihr einfachstes und letztes Grundgesetz, der Erfahrung entnommen, ist das vom Beharrungsvermögen, also dasjenige, dass ein vereinzelter in Bewegung befindlicher stofflicher Punkt seine Ortsveränderung so fortsetzt, dass er gleichmässig einer geraden Linie nachgeht. Was geschieht, wenn der stoffliche Punkt nicht vereinzelt ist, zu anderen in Beziehung tritt, bildet die unerschöpfliche Aufgabenfülle der Mechanik.

Schon in dem angeführten allereinfachsten Falle von der geradlinigen Fortbewegung des vereinzelten Stoffpunktes ist die Form der Bahn, die gerade Linie, ein Gegenstand der Geometrie. Anziehungen und Abstossungen, deren Richtungen ausserhalb der erwähnten geraden Bahn liegen, ändern die Bewegungsform des stofflichen Punktes ab; derselbe beschreibt unter solchen Einflüssen im allgemeinen eine Kurve, bei gewissen einfachen Verhältnissen z. B. einen Kegelschnitt. So wird denn beinahe bei jeder von dem einfachsten Grundfalle abweichenden Voraussetzung die Bahnform in noch weit höherem Grade Gegenstand geometrischer Betrachtung, so dass sich sehr bald die Geometrie als unentbehrliche schwesterliche Helferin, als Hülfswissenschaft für die Mechanik erweist, während das umgekehrte Verhältniss nicht stattfindet. Dies letztere ist erklärlich; denn die Geometrie ist eine Verstandeswissenschaft, sie ist an das Stoffliche nicht gebunden, zieht ihre Linien ebenso leicht durch das Grobkörperliche wie durch das Leere; sie kann deshalb von einer Wissenschaft des Stofflichen unmittelbar nicht unterstützt werden.

Manche haben allerdings angenommen, dass die Geometer des 17. Jahrhunderts die Mechanik zu geometrischen Ermittlungen herangezogen hätten; so Roberval in seinen schönen Untersuchungen über die Tangentenziehung, indem er die Geschwindigkeiten der Punkte, die eine Kurve durchlaufen, benutzt habe, und Barrow, der sogar Kräfte in die Kurvenuntersuchung einführte. Genauere Betrachtung zeigt indessen, dass es sich in beiden Fällen nur darum handelte, Richtungen festzustellen. Warum aber die Bewegungsgeometrie nicht den Geschwindigkeitsbegriff verwenden dürfte, ist nicht abzusehen. Wenn ein Kreis auf einer Geraden rollt, wie bei Roberval, so haben seine Punkte gegen die Gerade grössere Geschwindigkeiten, wenn sie weiter ab vom rollenden Punkte liegen. Das Verhältniss dieser Geschwindigkeiten festzustellen, ist eine der ersten Aufgaben der Bewegungsgeometrie; die wirkliche Grösse der Geschwindigkeiten

untersucht sie sich dagegen nicht. Diese wirkliche Grösse von Fortbewegungen steht in der Mechanik in erster Reihe; hier dagegen, bei Roberval und Barrow, kam sie gar nicht in Betracht, wie denn überhaupt die Bewegungsgeometrie Bewegungen nur unter einander vergleicht, nicht an sich misst, ihre Verursachung also unerörtert lässt. (Vergl. die Anmerkung auf S. 9.)

Das erwähnte Eingreifen der Geometrie als Hülfswissenschaft findet übrigens keineswegs bei allen Aufgaben der Mechanik statt; so z. B. wird sie wenig oder gar nicht herangezogen bei den mechanischen Untersuchungen über flüssige und gasförmige Körper. Die Mechanik ist also nicht an die Geometrie gebunden. Andererseits ist ja auch hervorzuheben, dass die Geometrie keineswegs zur Hauptaufgabe die Erörterung von Bewegungsformen hat; sie schafft, ordnet, untersucht vielmehr im allgemeinen ganz für sich. Ihr kann es gleichgültig sein, ob ein Kegelschnitt, den sie zu untersuchen beabsichtigt, als Ergebniss mechanischer Wirkungen, also — wie im obigen Beispiel — als Bahnform vorliegt, oder ob er als Begrenzungslinie eines Schnittes durch das geometrische Gebilde Kegel, oder als Hüllform einer Reihe von Geraden sich der Untersuchung geboten hat, u. s. f. Je nach dem Standpunkte des Untersuchers wird somit entweder die geometrische oder die mechanische Bedeutung einer Kurve den Forscher mehr anziehen, erstere den Geometer, letztere den Mechaniker mehr fesseln können.

Dies zeigt sich auch deutlich in der Geschichte der Wissenschaften. So sehen wir z. B. im Anfang des siebzehnten Jahrhunderts, wo die heutige wissenschaftliche Mechanik eben erst entstand, die Geometrie aber schon ein hochehrwürdiges Alter besass, Torricelli, den geistvollen Gehülfen Galileis, sich mit rein geometrischen Betrachtungen der (Ortho-) Cykloide beschäftigen, ihre Flächenausmessung usw. behandeln, ebenso seinen Genossen Viviani; während diese Flächenausmessung oder die daran geschlossene Inhaltsbestimmung des Drehkörpers, der die (Ortho-) Cykloide zur Begrenzungslinie hat, für den Mechaniker nur einen geringen Werth hat. Beide zeigten sich hier als Geometer. In Jakob Bernoulli dagegen sehen wir wenig später den Mechaniker jenes Pendel untersuchen, welches nach derselben (Ortho-) Cykloide schwingt; wir sehen ihn die Brachistochronie und die Tautochronie des Cykloidenpendels aufzeigen und dadurch die junge Wissenschaft der Mechanik sowohl anwenden als bedeutsam

fördern. Obgleich also hier Mechanik und Geometrie sich mit demselben räumlichen Gebilde, der Cykloide, beschäftigen, forschen beide doch ganz getrennt, arbeiten von einander unabhängig. Beide indessen fanden bei der angeführten Aufgabe und anderen verwandten den Anlass zu einer eigenartigen inneren Spaltung oder vielmehr Arbeitstheilung, welche bei beiden das wissenschaftliche Fach in Unterabtheilungen zu trennen, den wissenschaftlichen Stamm sich in Aeste und Zweige zu theilen antrieb.

Als eine besondere Richtung der Geometrie bildete sich nämlich gerade am Cykloidenproblem die geometrische Betrachtung der Bewegungsformen, eine „Bewegungsgeometrie“, in ihren Grundzügen allmählich aus, spaltete sich von der Hauptwissenschaft wissentlich ab. Von der jungen Mechanik andererseits verhiess sich ein Zweig loszutrennen, welcher z. B. diejenige Eigenschaft des Pendels als sein Gebiet beanspruchen möchte, vermöge deren die Bahn des pendelnden Punktes durch ein körperliches Gebilde, den Pendelfaden, den Pendelstab, welche als Kraftträger auftraten, wesentlich bestimmt wurde. Bei dem Pendel, ob im Kreisbogen, ob cykloidisch schwingend, fand eine gewisse Nöthigung, ein Zwang zur Innehaltung der vom Mechaniker im voraus gewählten Bewegungsform statt; hier kam das, was ich seiner Zeit „Zwanglauf“ zu nennen vorgeschlagen, in Anwendung: eine Zwanglaufmechanik lag im Keime vor.

Beide Wissenschaftszweige haben sich denn in der That allmählich aus den beiden Hauptstämmen entwickelt:

die Bewegungsgeometrie aus der allgemeinen Geometrie,
die Zwanglaufmechanik aus der allgemeinen Mechanik.

Hier möchte ich daran erinnern, dass noch andere Zweige, den beiden genannten nachfolgend, sich aus den Hauptwissenschaften entwickelt haben, so aus der Geometrie die darstellende oder beschreibende Geometrie, in Verbindung mit der Algebra die analytische, dann die Geometrie des Mafses und die der Lage sich zu scheiden begannen, ferner die Mechanik sich in die Zweige Statik und Dynamik, mit weiteren Unterabtheilungen für flüssige und gasförmige Körper theilte, dass man die Festigkeitslehre als besonderes mechanisches Fach abgelöst, ja, dass man auch wieder Vereinigungen vollführt hat, wie beispielsweise die der Geometrie und der Statik zu Graphostatik.

Jene hervorgehobene zwiefache Zweitheilung lag nicht von Anfang an augenfällig vor, noch auch ist sie bis heute für jedes

Auge deutlich erkennbar. Je ferner ein Anschauender dem besonderen Studium steht, um so mehr müssen ihm die Grenzlinien verschwimmen, um so mehr wird er geneigt sein, das eine für das andere zu halten, zu verwechseln, misszuverstehen, unrichtige Schlüsse über Zusammengehörigkeit zu ziehen. Dieser Mangel an Unterscheidung ist zu begreifen, dem Laien auch durchaus zu verzeihen; weit unerwünschter ist er bei dem Kenner der bereits entwickelten Lehrfächer; für den Ingenieur insbesondere aber wird eine klare Erkenntniss der obigen doppelten Zweitheilung nachgerade eine Nothwendigkeit, da ihm Aufgaben und Darstellungen derselben täglich mehr zudrängen.

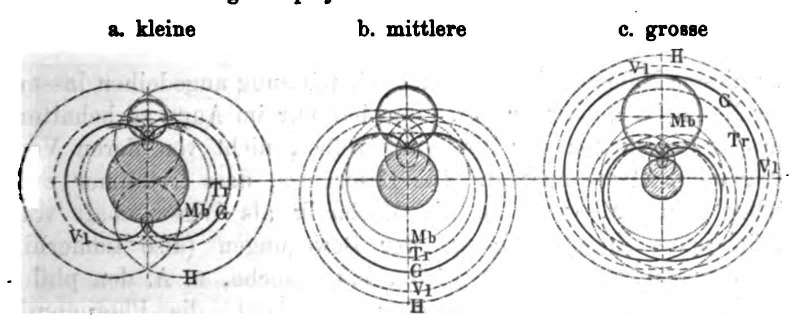
§. 2

Die ebenen Cykloiden

Um die zu besprechenden Unterscheidungen recht deutlich machen zu können, möchte ich das dem Mechaniker so vertraute Cykloidenproblem als Beispiel wählen, diejenigen Kurven also, welche im allgemeinen ein Kreis beschreibt, der auf einem anderen, in seiner Ebene gelegenen, rollt. Die folgenden fünf Figuren stellen die fünf Arten der Kurve dar: die Epi-, die Hypo-, die Peri-, die Ortho-Cykloide und die Kreisevolvente. In den drei

Fig. 1 Epicykloiden oder Aufradlinien

a. kleine b. mittlere c. grosse

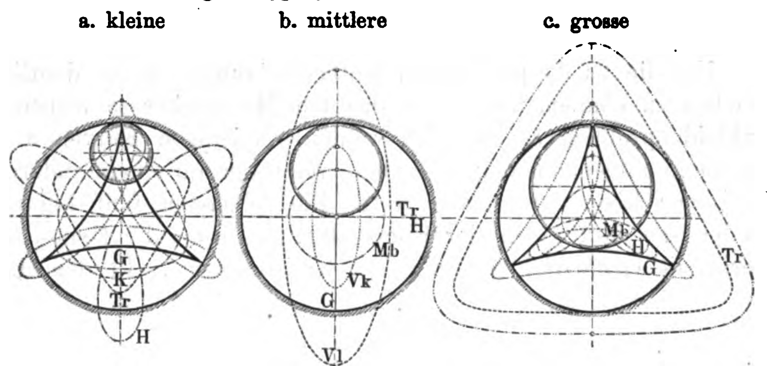


ersten Fällen, Fig. 1 bis 3, sind beide Kreise, der ruhende und der bewegliche, Grund- und Rollkreis, von endlichem, in den beiden letzten ist je einer derselben von unendlichem Halbmesser. Das Wesen der Bewegungsgeometrie tritt hier in ausgezeichneter Deutlichkeit hervor. S i e b e h a n d e l t b e w e g t e G e b i l d e. Demzufolge stellt jede der beschriebenen Kurven nur einen Einzelfall,

eine Einzelform aus der unendlichen Schaar von Kurven vor, welche durch die verschiedenen Punkte des rollenden Kreises beschrieben werden. Abweichend von der alten Planimetrie — der ruhenden Geometrie, wie man sagen könnte —, welche sich mit der einzelnen ruhenden Figur befasst, folgt hier der Untersucher einem Gebilde, welchem er Bewegung gegen ein zweites, ruhendes zuschreibt, und drückt in Gleichungen, welche die Ortsveränderung angeben, alle Lagen der beschreibenden Punkte aus. Das Fortführen, Forttragen des beweglich gedachten Gebildes ist das Eigenthümliche in den Aufgaben*), weshalb man dies auch in die Benennung des sich absondernden Wissenszweiges aufzunehmen suchte. Man nannte ihn „Phoronomie", was „Bewegungsgesetzlichkeit", „Lehre von den Bewegungsgesetzen" besagt. Kant

Fig. 2 Hypocykloiden oder Inradlinien

a. kleine b. mittlere c. grosse

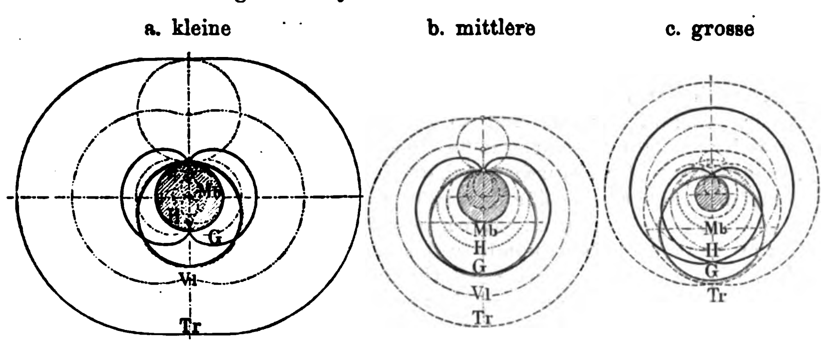


hat diesem Namen seine besondere Empfehlung angedeihen lassen. Der Name ist auch sehr gut. Man hat nur im Auge zu behalten, dass er einzig von der Bewegung selbst, nicht von deren Verursachung, etwas aussagt. Die Besorgniss, dass Irrthümer entstehen könnten, wenn an die Mechanik als Wissenschaft vom ursächlichen Zusammenhange der Bewegungen (also immerhin von Bewegungen) gedacht würde, hat manche, u. A. den philosophisch denkenden Redtenbacher, veranlasst, die Phoronomie

*) Dass sich's um Bewegung handelt, drängt sich so stark auf, dass Oerstedt daraus Veranlassung nahm, vom rollenden Rade ausgehend, für Cykloide „Radlinie", also „Aufradlinie", „Inradlinie" usw. vorzuschlagen. Diese Namen sind schön und vielfach brauchbar; leider lassen sie sich nicht in Beiwörter umbilden, so dass wir die an sich ja auch vorzüglichen, halb griechischen, halb lateinischen Bezeichnungen einstweilen, oder auch auf die Dauer, nicht entbehren können.

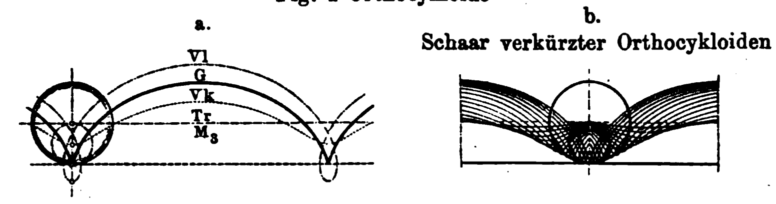
noch insbesondere als Lehre von der „Bewegung als Erscheinung“ zu erklären. Gegen diese hegelianische Erläuterung ist an sich wenig einzuwenden — wenigstens für uns Deutsche nicht; die Franzosen, Italiäner und Engländer können sie allerdings nicht

Fig. 3 Pericykloiden oder Umradlinien



wiedergeben — nur eignet sie sich nicht zu einem Namen. Ich glaube deshalb, dass „Phoronomie“, wovon man so leicht „phoronomisch“ ableitet, nach wie vor die empfehlenswertheste Bezeichnung für Bewegungsgeometrie ist und bei allseitiger Annahme

Fig. 4 Orthocykloide



alle die schädlichen Verwirrungen ausschliessen würde, welche einzelne Neuerer durch Vorschiebung anderer Bezeichnungen heraufbeschworen haben.

Der Name Phoronomie wurde meines Wissens zuerst von Torricelli (gegen 1642) einem Wissenszweige gegeben, keineswegs aber der Bewegungsgeometrie, sondern einem besonderen, abgetrennten Gebiete der Mechanik, demjenigen vom Ausfluss des Wassers aus Gefässen durch Oeffnungen, Ueberfälle, Röhren. Torricelli ist als der Begründer dieses letzteren Wissenszweiges anzusehen, der bekanntlich noch heute vorwiegend auf dem Versuche beruht, also eine ganz andere Grundlage hat, als die Geometrie; man ist übrigens dem Torricellischen Vorschlage nicht gefolgt und wohl mit Recht, da das Wort Phoronomie jedenfalls einen umfassenderen Sinn hat, als den der Lehre vom Ausfliessen. Kant andererseits hat nicht bloss

den Namen Phoronomie für die Bewegungsgeometrie gewählt, sondern die Sache selbst philosophisch aufgebaut und eingereiht. Dies geschieht in seinen „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft, 1786". Für den mathematischen Theoretiker sind seine Entwicklungen höchst werthvoll. „Unter die vier Klassen der Verstandesbegriffe", heisst es in der Vorrede, „die der Grösse, der Qualität, der Relation und endlich der Modalität, müssen sich auch alle Bestimmungen der allgemeinen Begriffe einer Materie überhaupt . . . bringen lassen. . . . Die Grundbestimmung eines Etwas, das ein Gegenstand äusserer Sinne sein soll, musste Bewegung sein; denn dadurch allein können diese Sinne affizirt werden. Auf diese führt auch der Verstand alle übrigen Prädikate der Materie, die zu ihrer Natur gehören, zurück, und so ist die Naturwissenschaft durchgängig entweder reine oder angewandte Bewegungslehre. Die metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft sind aber unter vier Hauptstücke zu bringen, deren erstes die Bewegung als ein reines Quantum, nach seiner Zusammensetzung, ohne alle Qualität des Beweglichen betrachtet und **Phoronomie** genannt werden kann, das zweite sie als zur Qualität der Materie gehörig, unter dem Namen einer ursprünglich bewegenden Kraft, in Erwägung zieht und daher Dynamik heisst, das dritte die Materie mit dieser Qualität durch ihre eigene Bewegung gegen einander in Relation betrachtet und unter dem Namen Mechanik vorkommt, das vierte aber ihre Bewegung oder Ruhe bloss in Beziehung auf die Vorstellungsart oder Modalität, mithin als Erscheinung äusserer Sinne bestimmt und Phänomenologie genannt wird."

Es folgen weiterhin die vier „Hauptstücke", betitelt Phoronomie, Dynamik, Mechanik und Phänomenologie. Hier kann davon abgesehen werden, dass wir heute gewöhnlich die Begriffsbestimmungen Mechanik und Dynamik etwas anders zu einander stellen, als Kant. Aus dem ersten Hauptstücke führe ich aber noch folgende vortreffliche Stelle an: „In der Phoronomie, da ich die Materie durch keine andere Eigenschaft, als ihre Beweglichkeit kenne, . . . kann die Bewegung nur als Beschreibung eines Raumes betrachtet werden, doch so, dass ich nicht bloss, wie in der Geometrie, auf den Raum, der beschrieben wird, sondern auch auf die Zeit darin, mithin auf die Geschwindigkeit, womit ein Punkt den Raum beschreibt, Acht habe. Phoronomie ist also die reine Grössenlehre (*mathesis*) der Bewegungen. Der bestimmte Begriff von einer Grösse ist der Begriff der Erzeugung der Vorstellung eines Gegenstandes durch die Zusammensetzung des Gleichartigen. Da nun der Bewegung nichts gleichartig ist, als wiederum Bewegung, so ist die Phoronomie eine Lehre der Zusammensetzung der Bewegungen eben desselben Punktes nach ihrer Richtung und Geschwindigkeit, d. i. die Vorstellung einer einzigen Bewegung als einer solchen, die zwei und so mehrere Bewegungen zugleich in sich enthält, oder zweier Bewegungen eben desselben Punktes zugleich, sofern sie zusammen eine ausmachen, d. i. mit dieser einerlei sind, und nicht etwa sofern sie die letztere, als Ursachen ihrer Wirkung, hervorbringen."

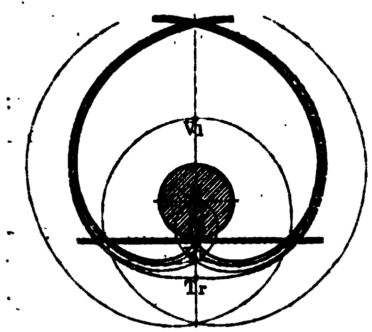
Wegen des Formenreichthumes der cyklischen Kurven bedarf es besonderer Namen für die Einzelfälle. Ich bleibe bei den seit langer Zeit gebräuchlichen von der „gemeinen", „verlängerten" und „verkürzten" Kurve stehen, je nachdem der beschreibende

Punkt auf dem Rande der rollenden Kreisfigur, ausserhalb derselben oder innerhalb derselben liegt, oder, wie man auch sagen kann: je nachdem die beschriebene Kurve „Randbahn“, „Aussenbahn“ oder „Innenbahn“ ist.

Die Engländer nennen unsre „verlängerte“ Kurve eine verkürzte, unsre „verkürzte“ Kurve eine verlängerte. Sie gehen anscheinend davon aus, dass beispielsweise im Falle der Epicykloide in der Anfangsstellung (s. Fig. 1 a) man den beschreibenden Punkt, der innerhalb des rollenden Kreises liegt, durch eine Vergrösserung, den ausserhalb liegenden durch eine Verkleinerung des Abstandes von der Mitte des ruhenden Kreises erreicht*). Wir dagegen denken dabei an Verkürzung oder Verlängerung des Abstandes vom Mittel des rollenden Kreises. Unsre deutsche Bezeichnungsweise verdient aber den Vorzug. Denn unsre „verkürzte“ Kurve heisst nicht bloss so wegen der eben erwähnten Abstandsverkleinerung, sondern auch, weil ihre Länge geringer ausfällt, als die der gemeinen Kurve, und ebenso fällt unsre „verlängerte“, von einem Aussenpunkte des rollenden Kreises beschriebene Kurve länger aus, als die gemeine. Die französischen Geometer bezeichnen grösstentheils wie wir. Die Nichtübereinstimmung mit den Geometern englischer Zunge ist zu bedauern. Aber es darf doch nicht gerathen werden, unsrerseits zu der mangelhaften englischen Bezeichnung überzugehen, wie von Einigen versucht worden ist. In nordamerikanischen Kreisen hat man übrigens gelegentlich schon begonnen, unsre wohlbegründete Ausdrucksweise anzunehmen.

Fig. 5

Kreisevolvente oder Cykloorthoide



*) So habe ich im Meinungsaustausch mit englischen und amerikanischen Kollegen ermittelt. Die Sache könnte sich aber auch anders verhalten, wie mir neuerdings wahrscheinlich geworden. Nämlich so, dass drüben, sowie an einzelnen Stellen auch bei uns, an Bezeichnungen aus früheren Jahrhunderten festgehalten wird, ohne auf deren Herleitung besonderen Werth zu legen. Johann Bernoulli nannte (Opera I, S. 385) unsre Orthocykloide V_l (Fig. 4) *cyclois contracta*, und die V_k derselben Figur *cyclois protracta*, also die Kurve mit der Schleife: zusammengezogen, die mit der welligen Stelle: ausgereckt. Er betrachtet demnach diejenige Form-

Vielfach ist bei dieser Gelegenheit der Beachtung entgangen, dass die am meisten verkürzte Cykloide, diejenige, bei der der Abstand des beschreibenden Punktes vom Mittel des rollenden Kreises = Null wird, zugleich die kürzeste Kurve der ganzen Schaar ist; ich habe deshalb vorgeschlagen, sie die konzentrirte Kurve zu nennen*). Sie wird ein Kreis. Ihre Längenausdehnung verhält sich zu derjenigen der gemeinen Kurve, wie $\pi:4$. Die alten Astronomen nannten diesen Kreis den Deferenten, gleichsam den Träger, Fortbringer, Fortführer des Punktes, um welchen der beschreibende Punkt herumschwingt. Ein Name für die Figur, die hier so einfach gestaltet ist, wäre wohl erwünscht, „Deferent" aber ist wegen seiner geringen Bestimmtheit nicht zu empfehlen. Ich will die Kurve hier weiterhin die Mittelsbahn nennen, da sie die Bahn des Mittels der rollenden Figur ist. Unser eben besprochener Lehrsatz über die Längenausdehnung der konzentrirten Kurve nimmt bei dieser Bezeichnung folgende Form an:

I. Die Mittelsbahn ist die kürzeste Cykloide; ihre Länge ist $= \pi/4$ von derjenigen der Randbahn.

Weiterhin unterscheide ich noch die „homozentrische" Kurve**); sie ist diejenige, welche von einem Punkte der konzentrirten Kurve beschrieben wird, wenn deren Träger rollender Kreis ist. Die homozentrischen Kurven gehen durch den Mittelpunkt des ruhenden Kreises. Ferner bestehen noch mancherlei Ungleichheiten bezüglich der hier als vierter aufgeführten Form,

---

änderung, welche in der Querrichtung vor sich gegangen ist, nicht die radiale Verlegung des beschreibenden Punktes. Hätte Bernoulli die Pericykloide, Fig. 3, schon gekannt, so würde er folgerichtig die „verlängerte" Kurve V_l, da sie wellig verläuft, protracta, die „verkürzte", da sie die Schleife hat, contracta genannt haben. Unsre Bezeichnungen „verkürzt" und „verlängert" sind hiernach keine unmittelbaren Uebersetzungen von „contractus" und „protractus"; weil sie aber stellenweise dafür gehalten worden sind, ist die Verwirrung entstanden. Contractus und protractus wäre zu übersetzen gewesen mit „verschmälert" und „verbreitert"; das war es wenigstens, was Bernoulli meinte. In Frankreich benamt, wie gesagt, die Mehrzahl der Fachschriftsteller so wie im Texte oben geschehen (*raccourci* für verkürzt, *allongé* für verlängert). Bobillier weicht indessen ab mit *rallongé* und *raccourci* in umgekehrter Meinung; Italien verfährt richtig mit *accorciato* und *allungato*, wie oben von mir gebraucht. Es muss übrigens beachtet werden, dass auch Johann Bernoulli die radiale Stellung des beschreibenden Punktes bei seinen Nennungen in Betracht gezogen, indessen nicht besonders mit einer Bezeichnung belegt hat.

*) Siehe meine Theoretische Kinematik (Braunschweig 1875), S. 129, 130.

**) Ebenda S. 129.

welche geschichtlich die erste ist. Ich habe vorgeschlagen, deren Namen einen Vorschlag oder Präfix zu geben, wie in den vorausgehenden Fällen geschehen, und nenne sie seit vielen Jahren „Orthocykloide“, weil der Kreis auf einer Geraden rollt (orthos = gerade). Die einzige Kreisevolvente, an sich gewiss gut benannt, fällt aus dem logischen Benennungsrahmen noch heraus; man erzielt indessen den Anschluss, wenn man sie „Cykloorthoide“ nennt; es gibt Fälle, wo für die Uebersicht diese Bezeichnung von Nutzen ist, wie sich noch zeigen wird.

Es liegt sicherlich im Sinne der Phoronomie, durch die Namengebung den Ueberblick über viel gebrauchte Kurven zu erleichtern, da die Fülle des Lehrstoffes immer zunimmt, die Studienzeit aber nicht mehr zunehmen kann. Ich bediene mich deshalb seit einiger Zeit einer noch weiter gehenden Untertheilung für die cyklischen Kurven, unterscheide nämlich „kleine“, „mittlere“ und „grosse“ Cykloiden. Mittlere Epicykloiden nenne ich diejenigen, bei welchen Grund- und Rollkreis gleich sind, kleine, die bei kleinerem, grosse, die bei grösserem Rollkreis entstehenden. Mittlere Hypocykloiden *) sind diejenigen, bei welchen der Rollkreis halb so gross ist, als der Grundkreis; mittlere Pericykloiden diejenigen, bei welchen der Grundkreis halb so gross ist, als der Rollkreis. Die Orthocykloide gehört hiernach immer zu den „kleinen“, die Kreisevolvente oder Cykloorthoide immer zu den „grossen“ cyklischen Kurven.

Es geht hierbei sogar an, das Grössenverhältniss von Roll- und Grundkreis zahlenmässig auszudrücken, z. B. von einer 3tels, 4tels auch $^4/_3$tels usw. Radlinie zu sprechen, wenn $R:R_1 = {}^1/_3$, $^1/_4$, $^4/_3$ usw. ist. Ich werde davon weiter unten Gebrauch machen, aber auch ganze Zahlen so ausdrücken, und zwar als unechte Brüche, z. B. bei $R:R_1 = 4$ von einer $^4/_1$tels (gespr. Vier-Eintels-) Cykloide sprechen; für $^1/_2$ sage ich dabei ein 2tel.

Diese Hülfsbezeichnungen erleichtern ungemein sowohl Uebersicht als Besprechung. Leicht kann man z. B. nun jene bekannten merkwürdigen Eigenschaften der Hypocykloiden ausdrücken: Die mittleren Hypocykloiden sind Ellipsen, in der gemeinen Form geradlinige Ellipsen (so nenne ich Ellipsen, bei denen die kleine Achse Null ist); die grossen Hypocykloiden

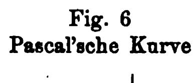
*) Für diese Kurve wurde die Untertheilung in „median“, „minor“ und „major“ von dem amerikanischen Kollegen Fergusson vorgeschlagen; ich trat dem Vorschlage bei unter Ausdehnung desselben auf die ganze Reihe.

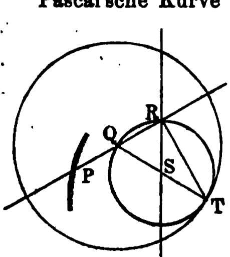
laufen entgegen der Rollungsrichtung, die kleinen mit derselben. Ferner: Die gemeine kleine Hypocykloide ist gleich derjenigen gemeinen grossen Hypocykloide, deren Rollkreisdurchmesser den ihrigen zum Grundkreisdurchmesser ergänzt. Weiterhin: Die gemeine mittlere Pericykloide trifft in der Form zusammen mit der gemeinen mittleren Epicykloide (Kardioide); die ungemeinen Formen beider aber sind verschieden, somit die Kurven nicht einerlei (vergl. meinen Konstrukteur, 4. Aufl. S. XLV). Endlich: Die sogenannte Pascal'sche Kurve ist die mittlere Pericykloide (Perikardioide); die mit dieser in der gemeinen Form zusammenfallende mittlere Epicykloide ist nicht die Pascal'sche Kurve *) u. s. f.

Von den Figuren stellen a. die „kleinen", b. die „mittleren", c. die „grossen" cyklischen Kurven dar. Dabei habe ich durchweg bezeichnet: mit G die gemeine, mit V_l die verlängerte, mit V_k die verkürzte, mit M_k die konzentrirte Kurve oder Mittelsbahn, mit H die homozentrische Form; mit T_r habe ich noch eine besondere Form bezeichnet, eine solche nämlich, bei welcher die Kurve eine oder mehrere Stellen mit doppeltem Wendepunkte — Tropen kann man die Stellen nennen — besitzt und deshalb streckenweise nahezu, unter Umständen auch genau, mit einer Geraden zusammenfällt. Die tropischen Formen der cyklischen Kurven bieten mancherlei theoretisches wie auch praktisches Interesse. Fig. 4 b zeigt eine Schaar verkürzter Orthocykloiden, welche sämmtlich Wendepunkte haben. Letztere liegen in einem Kreise,

---

*) Der Beweis ist folgender, Fig. 6: Die Pascal'sche Kurve wird beschrieben durch einen Punkt P einer Geraden, welche mit einem anderen ihrer Punkte, Q, einem ruhenden Kreise nachgeht und zugleich durch einen festen Punkt R dieses Kreises gleitet. Die Senkrechte zu dem Wegelemente des Punktes Q geht durch den Mittelpunkt S des ruhenden Kreises; die Gerade gleitet durch R in ihrer eigenen Richtung, somit geht die Senkrechte zu letzterer durch den Gegenpunkt T des aus Q gezogenen Durchmessers des ruhenden Kreises. Punkt T ist also Pol für die Bewegung der Geraden gegen den Kreis, dieser die Polbahn, welche dem ruhenden Kreise angehört. T steht immer um den Durchmesser QT vom Punkte Q der beweglichen Geraden ab; die Polbahn, die der letzteren angehört, ist mithin ein Kreis um Q mit QT beschrieben, die Bahn von P also eine Pericykloide, insbesondere eine mittlere Pericykloide oder Perikardioide (s. unten S. 17).

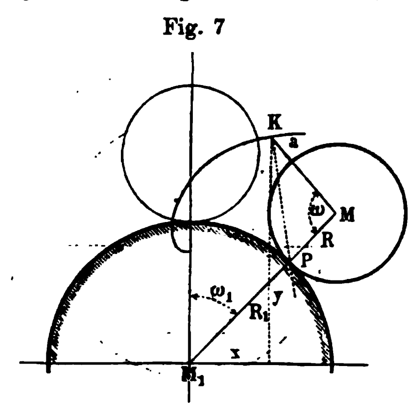

Fig. 6
Pascal'sche Kurve



den man nach Vorgang französischer Phoronomen *) den Wendekreis nennt; sein Scheitel liegt in der tropischen Kurve T_r.

Die vorstehenden kurzen Betrachtungen geben einen bloss vorläufigen Ueberblick über das Gebiet der ebenen Cykloiden; für das nähere Verständniss ist es nöthig, auf wichtige Besonderheiten, namentlich die Krümmungsverhältnisse näher einzugehen. Vorher aber scheint es erforderlich, über die wiederholt erwähnte Pericykloide oder Umradlinie noch etwas Näheres beizubringen. Dieser von Weissenborn **) zuerst ausgeschiedenen Gattung wird von vielen Mathematikern noch die Anerkennung vorenthalten, indem sie sagen, dass jede „sogenannte" Pericykloide als Epicykloide erzeugt werden könne, wenn man bloss die Durchmessersumme der Epicykloide gleich dem Durchmesser des rollenden Kreises der Pericykloide mache, gleiche Grundkreise vorausgesetzt. Dies ist unzutreffend, wie Folgendes zeigen wird.

Fig. 7



Legt man für beide Cykloidengattungen den Koordinatenanfang in die Mitte des Grundkreises und wählt den Wälzungswinkel ω am rollenden Kreise so, dass er bei $x = 0$ auch Null wird, so ergibt sich für die rechtwinkligen Koordinaten der vom Punkte K beschriebenen Epicykloide, Fig. 7:

$$\left.\begin{aligned} x &= (R + R_1)\, sin\, \frac{R}{R_1}\,\omega - (R + a)\, sin\, \frac{R + R_1}{R_1}\,\omega \\ &\text{und} \\ y &= (R + R_1)\, cos\, \frac{R}{R_1}\,\omega - (R + a)\, cos\, \frac{R + R_1}{R_1}\,\omega \end{aligned}\right\} \quad \ldots (1)$$

Hierbei bezeichnet a den Abstand des beschreibenden Punktes vom Umfange des rollenden Kreises. a ist in der Figur positiv genommen, die Kurve also eine verlängerte; der verkürzten Kurve würde das negative Vorzeichen für a entsprechen.

---

*) Siehe z. B. Colignon, Cinématique, Paris 1865, S. 300, Circonférence des inflexions; vergl. auch §. 6 unten.

**) Weissenborn, Dr. H., Die cyklischen Curven, Eisenach 1856.

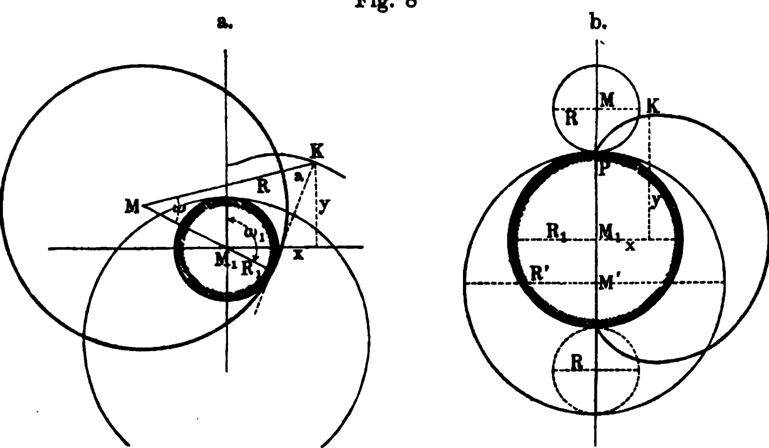
Für die Pericykloide von der Verlängerung a', Fig. 8 a, erhält man:

$$\left.\begin{aligned} x' &= -(R'-R_1')\sin\frac{R'}{R_1'}\omega + (R'+a')\sin\frac{R'-R_1'}{R_1'}\omega \\ y' &= -(R'-R_1')\cos\frac{R'}{R_1'}\omega + (R'+a')\cos\frac{R'-R_1'}{R_1'}\omega \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Um nun zu erreichen, dass Anfangspunkt und Scheitel der gemeinen Kurve oder Randbahn beidemal gleichweit vom Mittelpunkte des Grundkreises abstehen, muss man machen:

$$R_1' = R_1 \text{ und } 2R' - 2R_1' = 2R, \text{ d. h. } R' - R_1' = R.$$

Fig. 8



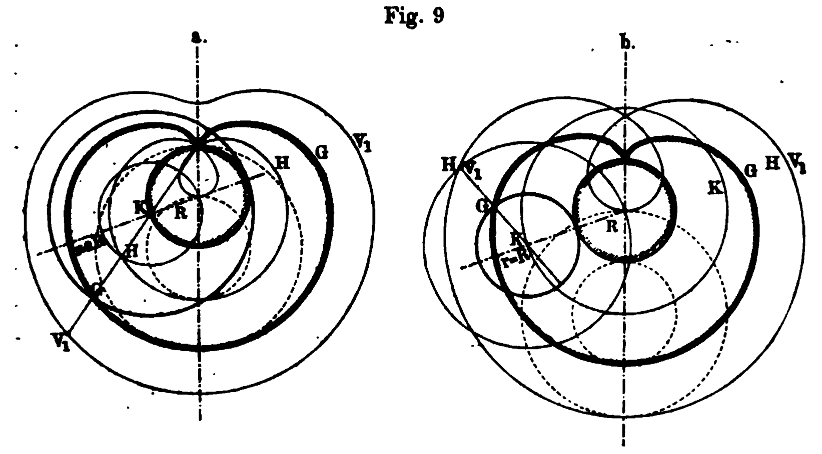
Damit aber erhält man:

$$\left.\begin{aligned} x' &= -R\sin\frac{R+R_1}{R_1}\omega + (R+R_1+a')\sin\frac{R}{R_1}\omega \\ y' &= -R\cos\frac{R+R_1}{R_1}\omega + (R+R_1+a')\cos\frac{R}{R_1}\omega \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Diese Gleichung (3) stimmt mit (1) dann überein, wenn a' und a Null sind, s. Fig. b, und wenn $R'+a'=R_1-a$. Das bedeutet, dass die gemeine Pericykloide durch eine ebenfalls gemeine Epicykloide ersetzt wird. Nicht aber wird eine Schaar von ungemeinen Pericykloiden zum selben Grundkreis durch eine Epicykloidenschaar ersetzt. Man sieht, dass die besondere Gattung Pericykloide unentbehrlich und ebenso gut begründet ist, wie jede andere Gattung. Zur Veranschaulichung diene noch die folgende Vergleichung zweier bestimmten Cykloiden der beiden Gattungen, nämlich der mittleren Epi- und der mittleren Pericykloide,

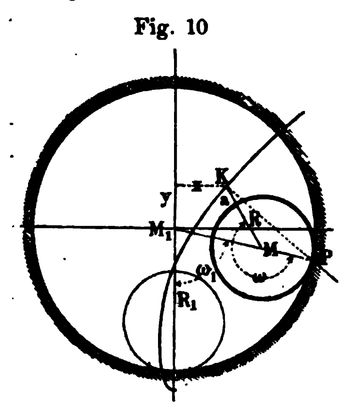
Fig. 9a und b. In der gemeinen Form sind die beiden Kurven bei gleichem Grundkreis kongruent. Diese Form ist die der Kardioide; wird diese als Epicykloide erzeugt, so muss sie Epikardioide genannt werden, bei der Erzeugung als Pericykloide

Fig. 9



aber Perikardioide. Die ungemeinen Formen beider Kurven weichen stark von einander ab, wie z. B. die Vergleichung der um die gleichen Werthe a und a' verlängerten Kurven V_1 zeigt; die eine, unter a, hat keine Schleife und ist eingedrückt, die unter b dagegen hat eine weite Schleife und ist zugleich homozentrisch. Die sogenannte Pascal'sche Kurve oder Pascal'sche Schnecke ist, wie schon oben angemerkt, die Perikardioide in ihrer allgemeinen Gestalt, also in verlängerter, verkürzter oder gemeiner Form; der besondere Name Pascal'sche Kurve ist entbehrlich.

Fig. 10



Ein zweiter, recht bekannter Fall der Gleichheit zweier Cykloiden tritt bei der Hypocykloide oder Inradlinie ein. Die Gleichung derselben unter den obigen Bedingungen, s. Fig. 10, lautet:

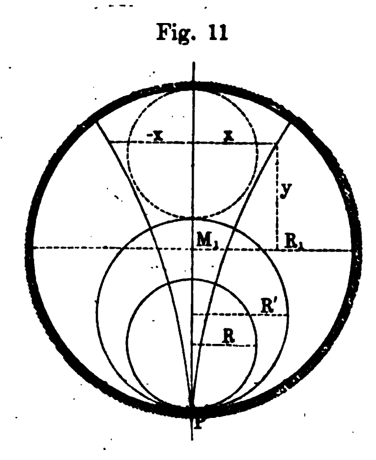
$$\left.\begin{aligned} x &= (R_1 - R)\sin\frac{R}{R_1}\omega - (R + a)\sin\frac{R_1 - R}{R_1}\omega \\ y &= -(R_1 - R)\cos\frac{R}{R_1}\omega - (R + a)\cos\frac{R_1 - R}{R_1}\omega \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (4)$$

Macht man hier $R' = R_1 - R$, vergl. Fig. 2a und c, so erhält man für x den neuen Werth:

$$x' = R \sin \frac{R_1 - R}{R_1} \omega - (R_1 - R + a) \sin \frac{R}{R_1} \omega,$$

der $= - x$ wird, wenn a Null ist, d. h. wenn die Kurve die gemeine ist. y' kommt unter derselben Voraussetzung $= y$. Wir haben also hier wiederum Ersetzbarkeit des Rollkreises vor uns, aber sie gilt genau wie oben auch nur für die Randbahnen, nicht für die ungemeinen Formen; überdies liegt die gemeine Kurve hier auf der Gegenseite der Abszissenachse, so dass nur Uebereinstimmung der Form, nicht aber der Lage eintritt, s. Fig. 11. Warum man sich bisher so sehr gegen die Pericykloide gesträubt hat, ist angesichts dieses zweiten Ersetzbarkeitsfalles und seiner Einschränkungen schwer zu verstehen.

Fig. 11



Fasst man das Vorstehende in Lehrsatzform, so kann man es wie folgt ausdrücken:

II. a) Die $m$tels-Epicykloide und die ($1 +$ ein $m$tels)-Pericykloide haben bei gleichem Grundkreise gleiche gemeine Form;

II. b) die $m$tels- und ($1 -$ ein $m$tels)-Hypocykloide haben bei gleichem Grundkreise gleiche gemeine Form.

Bei der Hypocykloide oder Inradlinie tritt noch eine besondere Ersetzbarkeit der einen Kurve durch eine andere ein, nämlich bei der mittleren Kurve, wo $R = {}^1/_2 R_1$. Alle Kurven, gemeine und ungemeine, werden hierbei Ellipsen, die beiden transscendenten Gleichungen gehen in eine algebraische über. Denn man erhält bei Einsetzung von $R = {}^1/_2 R_1$ aus (4):

$$x = \left[\frac{R_1}{2} - \left(\frac{R_1}{2} + a\right)\right] \sin \frac{\omega}{2} = - a \sin \frac{\omega}{2}$$

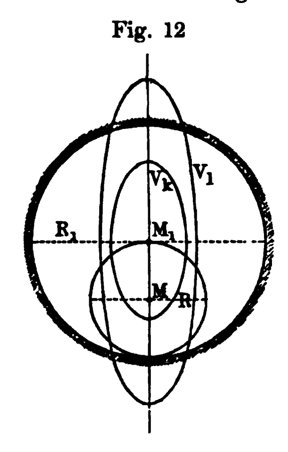
$$y = \left[-\frac{R_1}{2} - \left(\frac{R_1}{2} + a\right)\right] \cos \frac{\omega}{2} = - (R_1 + a) \cos \frac{\omega}{2}$$

und daraus:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{(R_1 + a)^2} = 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

die Mittelpunktsgleichung der Ellipse von den Halbachsen a und $R_1 + a$, gültig, ob a positiv, negativ oder auch Null. Im letzteren Falle wird $x = 0$ und $y = - R_1 \cos \omega/_2$ oder $- R_1 \cos \omega_1$. D. h. der beschreibende Punkt schreitet an einem Durchmesser des Grundkreises auf und nieder. Seine Bahn ist aber immer noch als Ellipse anzusehen, und zwar als eine solche, deren kleine Halbachse in Null übergegangen, deren grosse R_1 geworden ist. Ich habe sie eine geradlinige Ellipse genannt. Schon Cardano (1501 bis 1576) hat diese auffallende Eigenschaft der mittleren Hypocykloide bemerkt, weshalb ich vorschlug*), das Kreispaar die Kardanischen Kreise zu nennen, R den kleinen, R_1 den grossen Kardankreis. Die verlängerte Kurve V_l, Fig. 12, können wir eine äussere Ellipse, die verkürzte V_k eine innere nennen. Beiden kann man durch entsprechende Wahl jedes beliebige Achsenverhältniss und jede beliebige Grösse verleihen, deshalb auch jede äussere Ellipse durch eine innere ersetzen und umgekehrt. Man wird dabei sowohl R_1 als a durch andere Werthe R_1' und a' zu ersetzen haben. Diese oben einsetzend, erhält man die Gleichung

Fig. 12



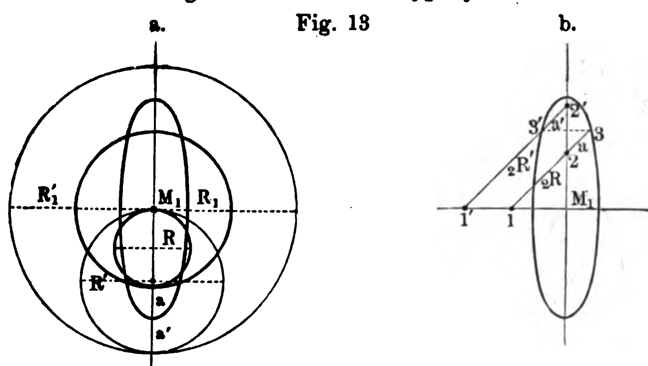
$$\frac{x^2}{a'^2} + \frac{y^2}{(R_1' - a')^2} = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{(R_1 + a)^2}.$$

Dieselbe wird gelöst, wenn man $a' = a$ und demgemäfs $R_1' - a' = R_1 + a$, d. i. $R_1' = R_1 + 2a$ macht, wie Fig. 13a (a. f. S.) anzeigt. Grundkreis sowohl, als Abstand des beschreibenden Punktes vom Rollkreismittel werden hier andere, die beschriebene Kurve wird auch umgekehrt durchlaufen, ähnlich wie die Hypocykloide oben, aber die Punktbahnen selbst stimmen überein. Eine andere einfache Weise, die Kardankreispaare für gleiche Ellipsen zu ermitteln, zeigt noch Fig. 13b (a. f. S.). Hier ist 1.2 der Durchmesser des kleinen Kardankreises, dem die äussere Ellipse von den Halbachsen 1.3 und 2.3 entspricht und 1'.2' || 1.3 der Durch-

*) Siehe meine Theoretische Kinematik, Braunschweig 1875, S. 124.

messer des kleinen Kardankreises zur inneren Ellipse von gleichgrossen Halbachsen, wofern $3'.2' = 3.2$ gemacht ist. Es tritt hier recht ins Licht, wie wenig es statthaft war, die Pericykloide wegbeweisen zu wollen, weil sie in der gemeinen Form durch eine Epicykloide ersetzt werden konnte. Uebertrüge man den vermeintlichen Grundsatz hierher, so gäbe es gar keine äusseren Ellipsen oder verlängerten mittleren Hypocykloiden.

Fig. 13



Anderweitige Ersetzbarkeiten im Cykloidengebiete treten nicht ein. Denn man hat für die Orthocykloide, Fig. 14:

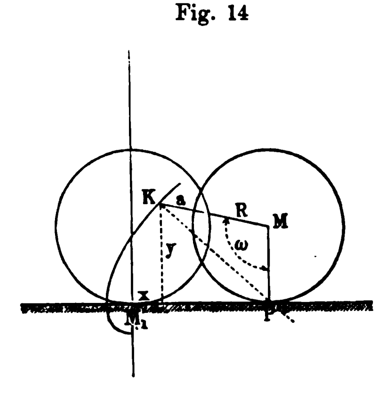
$$x = R\omega - (R + a) \sin\omega, \quad y = R - (R + a)\cos\omega \quad . \; . \quad (6)$$

und für die Cykloorthoide oder Kreisevolvente, Fig. 15:

$$\left.\begin{aligned} x &= (R_1 - a)\sin\omega_1 - R_1\omega_1\cos\omega_1 \\ y &= (R_1 - a)\cos\omega_1 + R_1\omega_1\sin\omega_1 \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Beidemal bietet sich keine Gelegenheit zur Ersetzung. Bei der Kreisevolvente kann man a, da $R_1 = \pm\infty$, sowohl zur einen wie zur anderen Seite der rollenden Geraden positiv zählen. Hier habe ich die Richtung vom Nullpunkte nach dem Innern des Grundkreises hin positiv angenommen. Wird $a = R_1$ gemacht, Fig. 15 b, so erhält man die verlängerte Cykloorthoide von der Gleichung $x = -R_1\omega_1\cos\omega_1, y = R_1\omega_1\sin\omega_1$, für welche bei Annahme von Polarkoordinaten der Fahrstrahl $r = \sqrt{x^2 + y^2} = R_1\omega_1$ folgt, was

Fig. 14



die Gleichung der archimedischen Spirale ist; diese Kurve ist also eine um den Grundkreishalbmesser verlängerte Kreisevolvente.

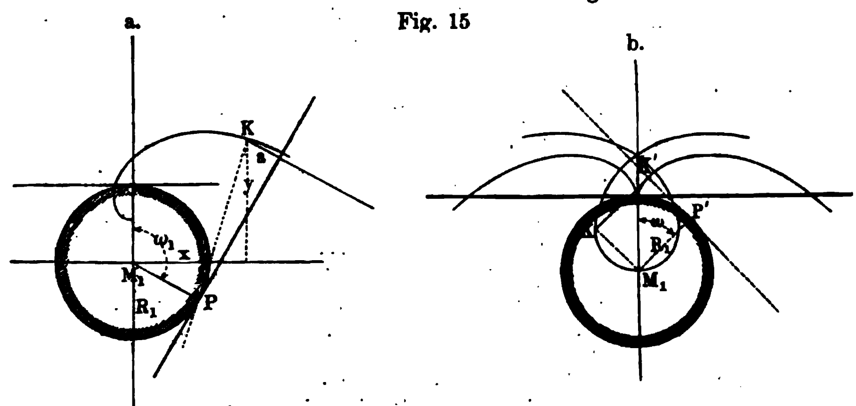


Fig. 15

Ich gehe jetzt zu den Krümmungsverhältnissen der Cykloiden über; sie lassen sich in mehreren Beziehungen einfacher darstellen, als bei der Reichhaltigkeit der Verhältnisse erwartet werden sollte.

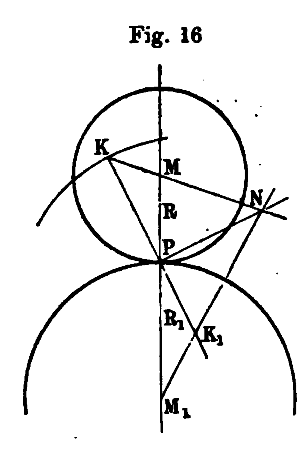
Krümmungsverhältnisse der ebenen Cykloiden

§. 3

Der Bobillier'sche Lehrsatz

Wenn die beiden Kreise R und R_1, Fig. 16, unter Drehung um ihre Mittelpunkte M und M_1 aufeinander rollen, so geht die Normale zu der Kurve, welche ein Punkt K, welcher fest mit dem Kreise R verbunden ist, gegen den Kreis R_1 beschreibt, durch den Rollpunkt oder Pol P, gleitet aber zugleich durch denselben Punkt. Man kennt also die Bewegungsrichtungen zweier Punkte der Normalen, diejenige von K als rechtwinklig zum Radius KM, und die von P als in der Richtung von KP.. liegend. Errichtet man nun, nach Euler verfahrend, in K und P auf den genannten Richtungen Senkrechten, so hat man in deren Schnittpunkte N den

Fig. 16

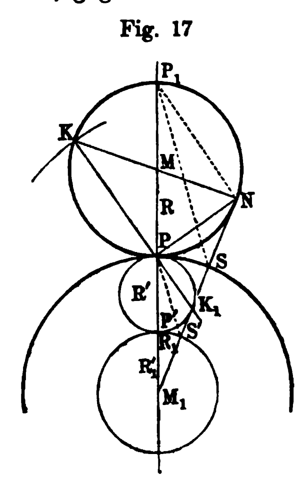


augenblicklichen Drehpunkt der Normalen gefunden. Um diesen Punkt muss sich augenblicklich auch der Krümmungsmittelpunkt K_1 des Kurvenelementes in K drehen, da er der Normalen angehört; gleichzeitig aber dreht sich K_1 auch augenblicklich um M_1, da K_1 in dem Kreise R_1 liegt. Somit befindet sich K_1 auf der Verbindungsgeraden von M_1 mit N in deren Schnitt mit der Normalen $KP\ldots$ Daher gilt denn folgender Lehrsatz:

III. Um den Krümmungsmittelpunkt K_1 zu dem Cykloidenelement in K zu erhalten, ziehe den Radius $KM\ldots$, errichte auf der Normalen $KP\ldots$ im Rollpunkte P eine Senkrechte und verbinde den Schnittpunkt N dieser beiden Geraden mit dem Mittelpunkte M_1 des Grundkreises; dann ist der Schnittpunkt dieser Verbindungsgeraden mit der Normalen der gesuchte Punkt K_1.

Dieser Satz wird bei uns der Bobillier'sche genannt*). Man kann noch den Zusatz bilden, dass wegen Entsprechung der Beziehungen der Punkt K auch der Krümmungsmittelpunkt zu einer vom Punkte K_1, wofern dieser mit dem Kreise R_1 fest verbunden wäre, gegen den Kreis R beschriebenen Cykloide ist.

Fig. 17



Die Gerade KK_1 berührt in K_1 die Evolute, oder, wie ich hier zu sagen vorziehe, „Reiflinie" der Cykloide K. Diese Reiflinie — ein Name, den ich weiter unten begründen werde — nimmt mancherlei Formen an, hat aber in einem Falle eine einfache Gestalt, dann nämlich, wenn K ein Umfangspunkt, die Cykloide eine gemeine ist. Dann ist N der Gegenpunkt des Durchmessers zu K, Fig. 17. Verbindet man nun den Gegenpunkt P_1 des Rollpunktes P mit N, so ist $P_1N \parallel PK_1$ und demnach $\Delta M_1PK_1 \sim M_1P_1N$. Dies bedeutet, dass die von K_1 in R_1 durchlaufene Kurve, die Reiflinie, ähnlich ist der von N, also auch der von K durchlaufenen Kurve, mithin eine Cykloide darstellt, deren Rollkreisscheitel den Kreis R_1 berührt und deren

*) Er ist erst durch Mannheim aus einem andern, durch Bobillier aufgestellten Satz abgeleitet worden. (Siehe Journ. d. l'Éc. pol. XXXVII, S. 187.)

Grundkreis sich zu ihrem Rollkreise verhält, wie $R_1 : R$. Den Grundkreishalbmesser $M_1 P'$ findet man leicht, z. B. durch Ziehung der Parallelen $P_1 S$ und PS'. Es folgt dann für die beiden gleichen Verhältnisse:

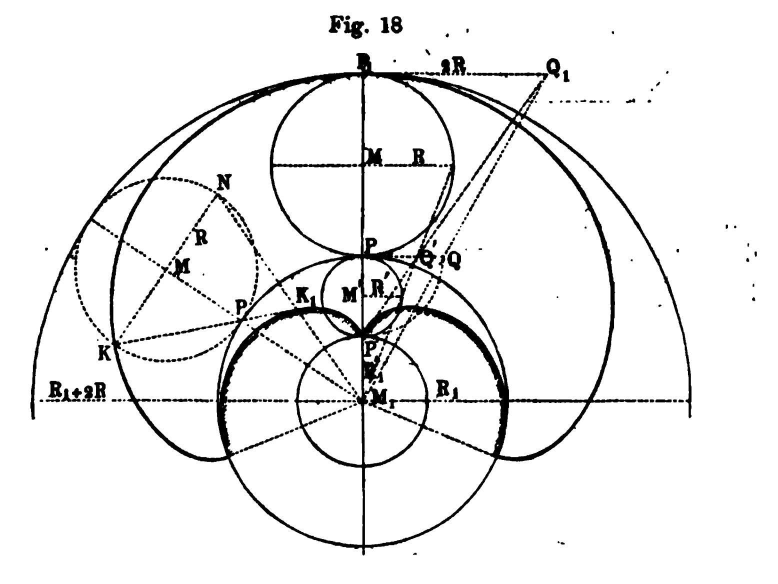
$$\frac{R'}{R} = \frac{R_1'}{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + 2R} = \frac{1}{1 + 2\frac{R}{R_1}}$$

und umgekehrt, wenn R' und R_1' gegeben sind:

$$\frac{R}{R'} = \frac{R_1}{R_1'} = 1 + 2\frac{R}{R_1} \quad \ldots \quad (8)$$

In Fig. 18 sind die beiden Kurven eingetragen. So wie die Kurve K_1 Reiflinie zu K, kann auch die Kurve K als Reiflinie zu

Fig. 18

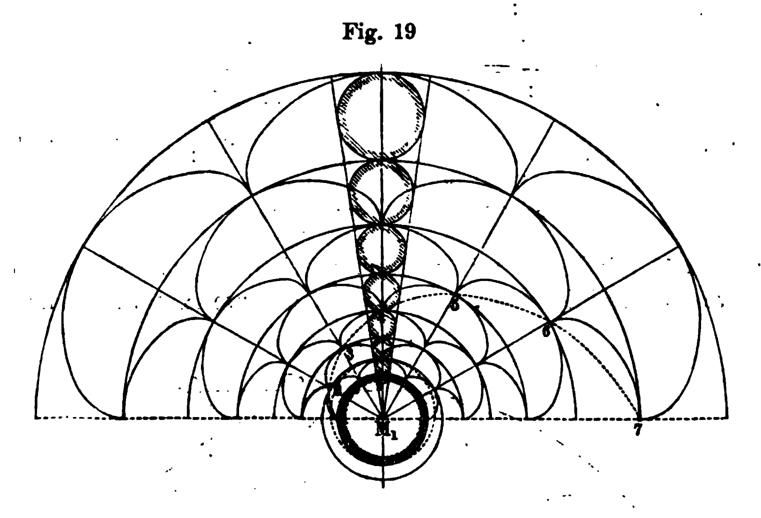


einer grösseren Cykloide K' vom Grundkreishalbmesser $R_1 + 2R$ dienen. Ebenso kann zur Kurve K_1 eine Reiflinie, welche innerhalb liegt und der Kurve K_1 ähnlich ist, aufgesucht werden. In Fig. 18 ist durch Ziehung des Strahles $Q_1 M_1$ noch die zeichnerische Aufsuchung von $2R' = PQ$ angedeutet.

Wenn man diese Untersuchung auf die Peri-, Hypo- und Orthocykloiden ausdehnt, erhält man ganz ähnliche Verhältnisse, alle zusammen sind in den folgenden drei Figuren übersichtlich dargestellt. Fig. 19 (a. f. S.) zeigt eine Schaar der folgeweise als

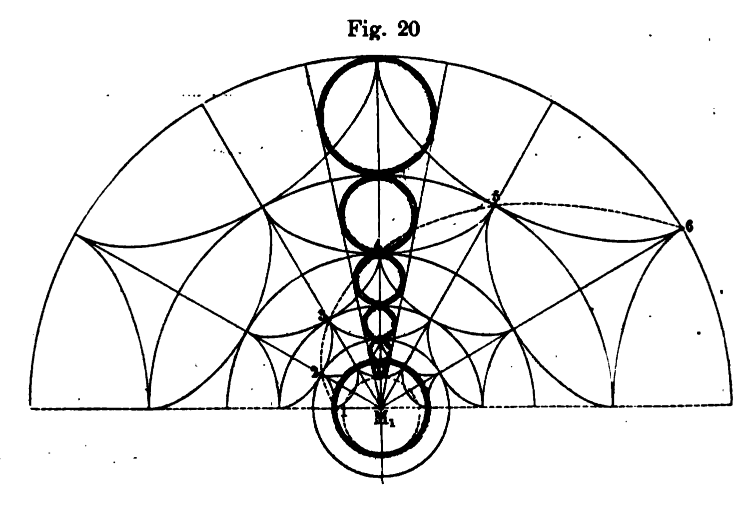
Reiflinien dienenden Epi- und dergleichen (gemeinen) Pericykloiden, zu deren kleinster der Rollkreis punktirt eingetragen ist. Fig. 20 zeigt in ähnlicher Weise eine Schaar von Hypocykloiden, und

Fig. 19



zwar 6tels und $^5/_6$tels Hypocykloiden, die folgeweise als Reiflinien dienen; der Rollkreis zur kleinsten $^5/_6$tels Hypocykloide ist wieder punktirt eingetragen. Schon Jakob Bernoulli hat auf die vor-

Fig. 20

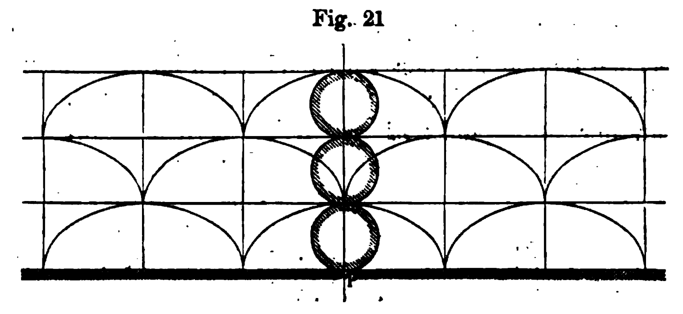


geführten Verhältnisse hingewiesen. Man scheint bisher übersehen zu haben, dass die aufeinander folgenden Roll- und Grundkreise

geometrisch wachsen und abnehmen*), d. h. dass diese Kreise sich demzufolge beim Kleiner- und Kleinerwerden der Null nähern, ohne diese jemals zu erreichen; gleichgeordnete Punkte der aufeinander folgenden Kurven, wie die Punkte 1, 2, 3, 4 . . ., liegen deshalb in logarithmischen Spiralen**).

Fig. 21 führt die entsprechende Schaar von Orthocykloiden vor, die, da ihre Grundkreise unendlich sind, gleich gross ausfallen.

Fig. 21



Die hier besprochenen einfachen Beziehungen zwischen Kurve und Reiflinie gelten nur für die gemeinen Formen oder Randbahnen; bei den Innen- und Aussenbahnen sind die Verhältnisse weit verwickelter. Mit Hülfe des Bobillier'schen Satzes lassen sich aber auch für sie die Krümmungsstrahlen aufsuchen, ausgenommen diejenigen, die in die Zentrale M_1PM . . . fallen. Auch schon

*) Jakob Bernoulli sagt (Opera I, S. 506) nur: *Ergo Cycloides omnes, evolutione sui, easdem specie Cycloides describunt*, sein jüngerer Bruder Johann etwas ausführlicher (Opera III, S. 450): *Hic vero monstrabimus, quod non solum Cyclois vulgaris Hugenii et Caustica Tschirnhausii hac proprietate gaudeant, sed quod omnes Cycloides possibiles, quotquot earum concipi possunt* (!) *per suas evolutiones sibi similes Cycloides describant. Alia etiam adnectetur curva ex Spiralium genere, cujus evolutio non solum ipsi similem, sed plane eandem Spiralem progignit.* Beide hätten aus der hervorgehobenen „Aehnlichkeit" den obigen, anscheinend bisher übersehenen Schluss ziehen können.

**) Recht deutlich zeigt sich hier, dass man den Lernenden das Verständniss der logarithmischen Spirale wohl sehr erleichtern würde, wenn man sie „geometrische" statt „logarithmische" Spirale nännte. Im Zusammenhang damit könnte man die archimedische Spirale die „arithmetische" nennen. Diese beiden Ausdrücke würden sofort das Wachsthum der Fahrstrahlen der beiden Kurven verständlich machen, während bei den üblichen Namen die besondere Begriffsbestimmung nebenher gehen muss. Dies ist einer der Fälle, in welchen man eine Begriffsbestimmung schon in den Namen hätte hineinlegen können, was bekanntlich zwar nicht logisch nothwendig, aber immerhin vortheilhaft ist.

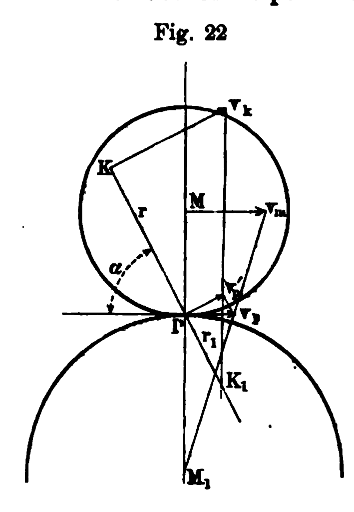
in der Nähe dieser Fahrstrahlen versagt der Bobillier'sche Satz beim Verzeichnen. Dieser Mangel ist nicht vorhanden bei dem folgenden, vom Regierungs-Baumeister, jetzt Professor W. Hartmann angegebenen Verfahren.

§. 4

Der Hartmann'sche Hülfssatz

Die Geschwindigkeiten, Schnellen oder „Fahrten" der beschreibenden Punkte sind deren Abständen von ihren Drehpunkten, seien diese dauernde oder augenblickliche, proportional. Bewegt sich nun der Mittelpunkt M des Rollkreises, Fig. 22, mit der Schnelle oder Fahrt v_m rechtwinklig zur $M_1 M$, so ist die Fahrt v_p des Rollpunktes oder Poles P rechtwinklig zur $M_1 M$ die Parallele zu v_m aus P, welche durch den Strahl $M_1 v_m$ abgeschnitten wird. Trägt man nun winkelrecht zu PK von K aus die Schnelle dieses Punktes in ganz demselben Verhältniss zum Strahle $PK = r$ auf, in welchem v_m zu R steht, so drücken v_k und v_m auch die Schnellen der Rollung um den Rollpunkt P aus. Man hat aber nun zu bedenken, dass der Rollpunkt P selbst sich um den Krümmungsmittelpunkt K_1 mit der Schnelle $v_p' = v_p \sin \alpha$ dreht, wenn α der Winkel $K_1 P v_p$ ist. Somit ist v_p' leicht gefunden und aufgetragen. Darauf aber ist vermöge Ziehung der Verbindungsgeraden $v_k v_p'$ ... bis zum Schnitt K_1 mit der Normalen der Krümmungsmittelpunkt K_1 sofort zu erhalten. Die beiden Abschnitte $PK = r$ und $PK_1 = r_1$ bilden dann zusammen den Krümmungsstrahl zu dem Kurvenelemente in K (und gemäss obigem Zusatz zu dem anderen in K_1). Dieses einfache treffliche Verfahren liefert auch die Krümmungshalbmesser zu solchen Elementen, die in die Zentrale $M_1 M$ ... fallen, so in Fig. 18 durch Ziehung des Strahles $Q_1 Q'$ . . ., nachdem $PQ' = v_p$ gemacht worden. Weiter unten wird es noch etwas weiter ausgebildet wiedergegeben werden.

Fig. 22



§. 5

Der Savary'sche Satz

Für die Abschnitte r und r_1 des Krümmungsstrahles hat nun Hartmann folgende Beziehungen abgeleitet. Es ist, s. Fig. 22:

$$\frac{r_1}{r + r_1} = \frac{v_p'}{v_k} = \frac{v_p \sin\alpha}{v_k}$$

oder:

$$\frac{r + r_1}{r_1} \sin\alpha = \frac{v_k}{v_p}.$$

Wir haben aber:

$$\frac{v_k}{v_m} = \frac{r}{R} \text{ und } \frac{v_p}{v_m} = \frac{R_1}{R + R_1},$$

also:

$$\frac{r + r_1}{r_1} \sin\alpha = \frac{v_k}{v_p} = \frac{r}{R}\,\frac{R + R_1}{R_1}$$

oder:

$$\frac{r + r_1}{r r_1} \sin\alpha = \frac{R + R_1}{R R_1},$$

woraus nach Ausführung der Theilung folgt, wenn man noch für die innere Berührung die Minuszeichen einführt:

$$\left(\frac{1}{r} \pm \frac{1}{r_1}\right) \sin\alpha = \frac{1}{R} \pm \frac{1}{R_1} \quad \cdots\cdots \quad (9)$$

Diese Gleichung ist unter dem Namen des Savary'schen Satzes bekannt. Savary selbst hat den Satz auf ganz anderem, und zwar sehr umständlichem Wege hergeleitet. Die hier bemerkbare grosse Einfachheit der Herleitung ist Hartmann und seinem Hülfssatze zu verdanken.

Wendepunkte der Cykloiden. Verfolgt man mit Hartmann und seinem Verfahren die Drehung des rollenden Kreises um den Pol P noch weiter, so kann man auf der PK, Fig. 23 (a. f. S.), einen Punkt U so wählen, dass $PK : PU = v_k : v_p'$ Dies gelingt, wenn man die Verbindungsgerade Pv_k zieht und in dieselbe mit einer durch den Endpunkt von v_p' gehenden Parallelen zu PK einschneidet und durch den Einschnittspunkt V die $VU \parallel Kv_k$ zieht. Dann stellt $UV = v_p'$ die Schnelle dar, mit welcher U sich um P augenblicklich dreht. Da aber P selbst um K_1 ebenso schnell in paralleler Richtung fährt, so liegt der Krümmungsmittelpunkt für das von U durchlaufene Kurvenelement

in $\pm$ unendlicher Ferne, d. h. die beschriebene Kurve hat in U einen Wendepunkt. Die Gerade $UV\ldots$ schneidet die Zentrale $M_1 M$ in T. Es ist aber $PU = PT \sin\alpha$, oder, wenn wir die $PT = W$ setzen, $W \sin\alpha$, wobei man hat:

$$\frac{W \sin\alpha}{r} = \frac{v_p \sin\alpha}{v_k}, \text{ d. i. } \frac{W}{r} = \frac{v_p}{v_k}.$$

Vorhin aber fanden wir: $v_k : v_p = (r/R)(R + R_1) : R_1$. Dies einsetzend, erhalten wir zur Bestimmung von W:

$$\frac{W}{r} = \frac{RR_1}{r(R + R_1)}$$

oder:

$$W = \frac{RR_1}{R + R_1} = \text{Konstante} \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Dieser Werth ist das harmonische Mittel aus R und R_1. Um diesen festen Werth W steht der Punkt T von P ab. Dies bedeutet, dass U in einem Kreise, geschlagen über $PT = W$ als Durchmesser liegt. Somit hat sich Folgendes ergeben:

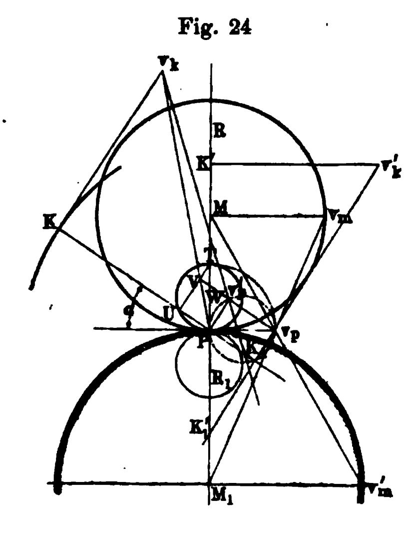
Fig. 23

IV. Der Wendepunkt U liegt, wie alle übrigen Wendepunkte der vom Kreise R gegen den Kreis R_1 beschriebenen Cykloiden, auf einem Kreise, dessen Mittelpunkt auf der Zentralen liegt, dessen Umfang durch den Pol P geht, und dessen Durchmesser das harmonische Mittel aus den Halbmessern der aufeinander rollenden Kreise ist.

Dieser Kreis wird, da alle Wendungen auf ihm stattfinden, wie schon erwähnt, Wendekreis genannt (siehe S. 15). Seine zeichnerische Aufsuchung ist leicht. Wir wählen ihrethalben den Maſsstab der Drehschnellen so, dass wir diese durch den zugehörigen Drehhalbmesser selbst ausdrücken, d. i. das oben allgemein gelassene Verhältniss zu demselben $= 1$ machen. Wir drücken also v_m

durch $MP = R$, v_k durch $PK = r$ aus u. s. f. Ziehen wir dann, Fig. 24, den Strahl $M_1 v_m$, so schneidet dieser zusammen mit der

Fig. 24



Zentrale $M_1 M$ von der Tangente in P das Stück $v_p = W = RR_1 : (R + R_1)$ ab. Diesen um P nach T hinaufklappend und über PT als Durchmesser einen Kreis beschreibend, haben wir in diesem den Wendekreis vor uns.

Sofort können wir nun auch den Wendekreis für die Rollung von R_1 auf R aufsuchen, was z. B. durch Ziehung des Strahles Mv_m' geschehen kann. Da nun aber $RR_1 = R_1 R$, so folgt schon an sich, dass der zweite Wendekreis dem erstgefundenen gleich ist und ihm ausserdem gegenüberliegt, dass also folgender weitere Satz gilt:

V. Die Wendekreise zu zwei aufeinander rollenden Kreisen sind gleich gross und berühren einander in dem Pole oder Rollpunkte P.

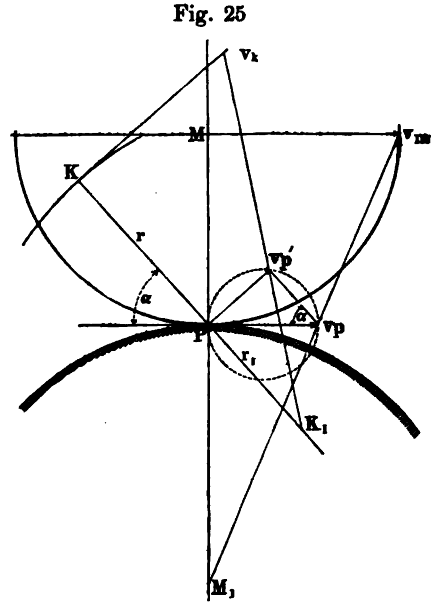
§. 6

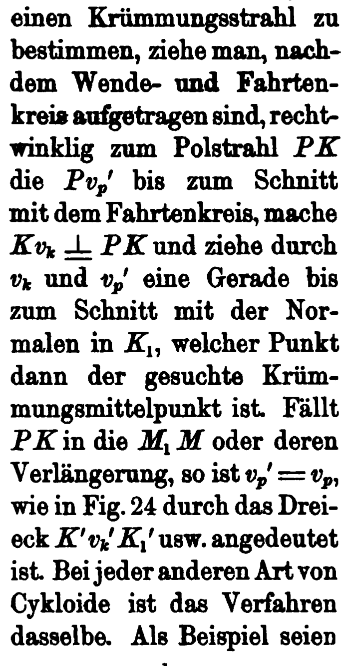
Verzeichnung der Krümmungsmittelpunkte

Der Wendekreis der Cykloiden wird beim Aufsuchen beliebiger Krümmungsmittelpunkte und -Strahlen ungemein nützlich; er tritt aus seiner älteren, fast allein theoretischen Stellung in diejenige der grössten praktischen Brauchbarkeit für eine Menge von geometrischen Aufgaben ein, die sich dem Techniker darbieten. Hinsichtlich seiner Verwendung hat man nämlich noch zu beachten, dass die Längen $v_p' = v_p \sin \alpha$ sämmtlich durch einen Kreis über v_p als Durchmesser von den aus P rechtwinklig zur Normalen gezogenen Geraden abgeschnitten werden, siehe Fig. 25 (a. f. S.). Diesen Kreis habe ich den Fahrtenkreis zu nennen vorgeschlagen. Der Durchmesser Pv_p desselben steht winkelrecht zum Durchmesser $PT = W$ des Wendekreises und

ist gleich W*). Die Figur $PUVv_p'$, welche oben, Fig. 23, sich allgemein als ein Rechteck erwies, wird ein Quadrat. Um nun irgend

Fig. 25

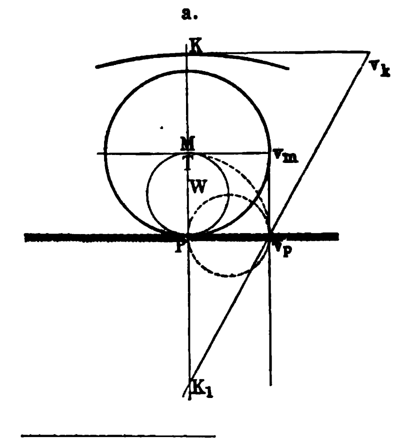




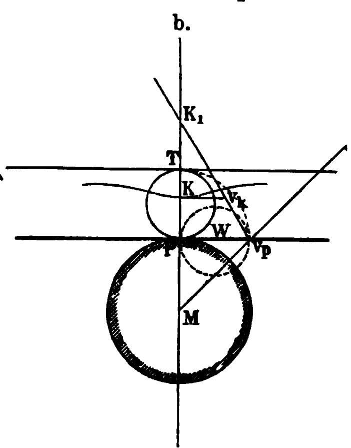
einen Krümmungsstrahl zu bestimmen, ziehe man, nachdem Wende- und Fahrtenkreis aufgetragen sind, rechtwinklig zum Polstrahl PK die Pv_p' bis zum Schnitt mit dem Fahrtenkreis, mache $Kv_k \perp PK$ und ziehe durch v_k und v_p' eine Gerade bis zum Schnitt mit der Normalen in K_1, welcher Punkt dann der gesuchte Krümmungsmittelpunkt ist. Fällt PK in die $M_1 M$ oder deren Verlängerung, so ist $v_p' = v_p$, wie in Fig. 24 durch das Dreieck $K' v_k' K_1'$ usw. angedeutet ist. Bei jeder anderen Art von Cykloide ist das Verfahren dasselbe. Als Beispiel seien

Fig. 26

a.



b.



*) Während die Grösse W des Wendekreisdurchmessers unabänderlich gleich $R R_1 : (R + R_1)$ ist, könnte man den Durchmesser des Fahrtenkreises auch anders, nämlich das Verhältniss $K v_k : r$ verschieden von 1 wählen; eben wegen dieser Freiheit der Wahl ist aber diejenige des Werthes W, da sie die vorgeführten grossen Vortheile gewährt, jeder anderen vorzuziehen.

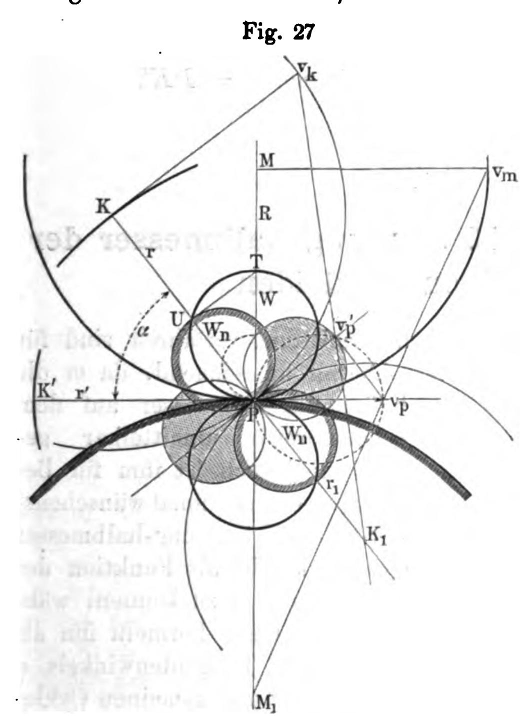
noch die Orthocykloide und die Cykloorthoide vorgeführt, Fig. 26. Bei a wird der Wendekreis halb so gross, als der Rollkreis; alle verkürzten Kurven sind daher hier Wendekurven (vergl. auch Fig. 4b). Eingetragen ist hier die Aufsuchung von K_1 zum mittleren Element einer verlängerten Orthocykloide. Bei b wird der Wendekreis halb so gross wie der Grundkreis (vergl. §. 11 zu Ende).

§. 7

Andere Form des Savary'schen Satzes

Vor dem Weitergehen möchte ich noch zeigen, dass sich der Savary'sche Satz noch auf eine andere, sehr lehrreiche Form bringen lässt. Zwei Kreise, die aufeinander rollen, besitzen immer einen Wendekreis vom Durchmesser W gleich dem harmonischen Mittel ihrer Halbmesser. Multiplizirt man nun Formel (9) aus, so erhält man:

Fig. 27



$$\left(\frac{r \pm r_1}{r r_1}\right) \sin\alpha = \frac{R \pm R_1}{R R_1}.$$

Rechts haben wir nun den uns bekannten Werth $1 : W$, links aber auch den umgekehrten Werth eines Wendekreis-Durchmessers, nämlich desjenigen zu zwei Kreisen von den Halbmessern r und r_1, jenen Abschnitten, in welche der Pol den Krümmungshalbmesser ϱ theilt, siehe Fig. 27. Dieser zweite Wendekreis besteht neben dem ersten, dem Haupt-Wendekreise; wir dürfen ihn deshalb einen Neben-Wendekreis nennen. Bezeichnen wir seinen Durchmesser mit W_n, so haben wir:

$$W_n = W \sin\alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (11)$$

in Worten:

VI. Der Neben-Wendekreis, d. i. Wendekreis zu den Kreisen, die aus den Endpunkten des Krümmungshalbmessers einer Cykloide durch den Pol hindurch beschrieben werden, ist $\sin\alpha$ mal so gross, als der Haupt-Wendekreis, wenn α der Winkel ist, den die Normale mit der Pol-Tangente einschliesst.

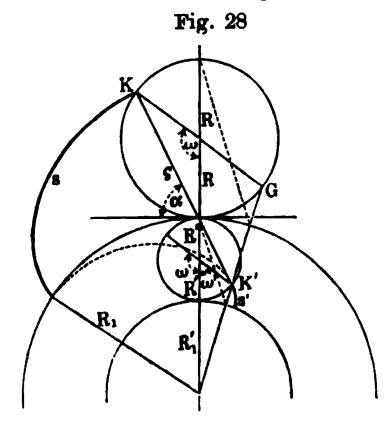
In Fig. 27 (a. v. S.) sind die genannten beiden mit den Abschnitten r und r_1 des Krümmungsstrahles beschriebenen Kreise eingetragen, desgleichen ihre Wende- und Fahrtenkreise. Der Neben-Wendekreis wird gleich dem Haupt-Wendekreise, wenn $\alpha = 90^0$; er wird Null bei $\alpha = 0$. Dieser Fall ist bemerkenswerth. Denn er zeigt, dass der Krümmungsmittelpunkt zu einem Kurvenelemente K', dessen Normale mit der Pol-Tangente zusammenfällt, stets gleich $PK' = r'$ ausfällt, indem hierbei $r_1 = 0$ wird. Bei der Kreisevolvente oder Cykloorthoide von der gemeinen Form ist immer $\alpha = 0$, also immer $\varrho = PK'$.

§. 8

Berechnung der Krümmungshalbmesser der gemeinen Cykloiden

Die in §. 3 bis 5 gegebenen Ermittlungsverfahren sind für die Arbeiten des Ingenieurs fast überall ausreichend, da er die Krümmungshalbmesser auf dem Zeichenbrette unmittelbar gebraucht; jedoch ist ihm für Berechnungen manchmal wünschenswerth, den Krümmungshalbmesser einer Cykloide als Funktion des Drehwinkels ω zu kennen, während die obigen Formeln ihn als solche des Tangentenwinkels α gaben. Für alle gemeinen Cykloiden wird $\alpha = {}^1/_2\,\omega$, wonach zu rechnen wäre; man kann aber auch unmittelbar wie folgt vorgehen.

Fig. 28



Man hat, siehe Fig. 28, $\varrho = 2R\sin\omega/_2 + 2R'\sin\omega/_2 = 2(R + R')\sin\omega/_2$, und nach Früherem

$$\frac{R'}{R_1'} = \frac{R}{R_1}, \quad \text{also} \quad R' = R_1' \frac{R}{R_1}$$

aber auch

$$R_1' = R_1 - 2R', \quad \text{daher} \quad R' = (R_1 - 2R') \frac{R}{R_1}$$

oder

$$R' = \frac{R}{1 + 2\frac{R}{R_1}} = \frac{R R_1}{R_1 + 2R}.$$

Hieraus folgt

$$\varrho = 2\left(R + \frac{R R_1}{R_1 + 2R}\right) \sin\frac{\omega}{2},$$

woraus, nach kleiner Umformung und entsprechender Zeichensetzung:

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{für die Epicykloide} & \varrho = 4R\,\dfrac{R_1 + R}{R_1 + 2R}\sin\dfrac{\omega}{2} \\
\text{„ „ Hypocykloide} & \varrho = 4R\,\dfrac{R_1 - R}{R_1 - 2R}\sin\dfrac{\omega}{2} \\
\text{„ „ Pericykloide} & \varrho = 4R\,\dfrac{R - R_1}{2R - R_1}\sin\dfrac{\omega}{2} \\
\text{„ „ Orthocykloide} & \varrho = 4R\sin\dfrac{\omega}{2} \;\ldots\ldots \\
\text{„ „ Cykloorthoide} & \varrho = R_1\omega_1 \;\ldots\ldots\ldots
\end{array}\right\} \cdot \cdot (12)$$

letzteres nämlich weil, nachdem man $\omega_1 = (R:R_1)\,\omega$ eingeführt hat, in dem Ausdruck

$$4R\,\frac{R_1 + R}{R_1 + 2R}\sin\frac{R_1}{R}\frac{\omega_1}{2}$$

für den Sinus der unendlich kleine Winkel selbst zu setzen ist, worauf, da die R_1 gegen die R verschwinden, $\varrho = R_1\omega_1$ folgt.

Beispiel. Für das Scheitelelement der 2tels-Epicykloide folgt aus (12) $\varrho = 4R(2R + R):(2R + 2R) = 4R(2+1):(2+2) = 3R = {}^3/_2\,R_1$; für den Scheitel der ${}^3/_2$tels-Pericykloide folgt $\varrho = 4R(R - {}^2/_3 R):(2R - {}^2/_3 R) = 4R(1 - {}^2/_3):(2 - {}^2/_3) = R = {}^3/_2 R_1$, wie wegen der Gleichheit der gemeinen Formen der beiden Kurven kommen muss, wenn ihre Grundkreise gleich sind und ihre Rollkreise einander algebraisch zum Grundkreise ergänzen.

Für die ungemeinen Formen lässt sich ϱ aus Formel (9) rechnerisch ableiten, was aber zu sehr verwickelten Ausdrücken führt, auf die einzugehen hier nicht der Ort ist.

§. 9

Streckung der gemeinen Cykloiden

Die aus Lehrsatz III, S. 22, folgende einfache Beziehung zwischen den gemeinen Cykloiden und ihren Reiflinien, gestattet, auf sehr kurzem Wege zur Längenausmessung oder Streckung (Rektifikation) dieser Cykloiden zu gelangen. Offenbar ist nämlich, s. Fig. 28, die halbe Länge der Reiflinie gleich $2R' + 2R$, demnach hat das Stück s' zwischen dem Krümmungsmittelpunkte und dem Grundkreise R_1' die Grösse $s' = 2(R' + R) - \varrho$. Hierin den Werth für ϱ, den wir oben ermittelten, einsetzend, erhält man

$$s' = 2(R' + R) - 4R\frac{R_1 + R}{R_1 + 2R} \sin\frac{180 - \omega'}{2}.$$

Hierin kann $R = R_1(R' : R_1') = (R_1' + 2R')(R' : R_1')$ aus dem vorigen Paragraphen eingeführt werden; das aber liefert:

$$s' = 2\left(R' + \frac{R_1' + 2R'}{R_1'}R'\right) - 4\frac{R_1' + 2R'}{R_1'}R'\frac{R_1' + R'}{R_1' + 2R'}\sin\left(90 - \frac{\omega'}{2}\right)$$

$$= 2\frac{R_1'R' + R_1'R' + 2R'R'}{R_1'} - 4\frac{R'}{R_1'}\frac{R_1' + R'}{R_1' + 2R'}\cos\frac{\omega'}{2},$$

oder
$$s' = 4\frac{R'}{R_1'}(R' + R_1')\left(1 - \cos\frac{\omega'}{2}\right),$$

also auch, wenn wir auf die Cykloiden aus R und R_1 übergehen:

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{für die Epicykloide} & s = 4\dfrac{R}{R_1}(R + R_1)\left(1 - \cos\dfrac{\omega}{2}\right) \\
\text{„ „ Hypocykloide} & s = 4\dfrac{R}{R_1}(R_1 - R)\left(1 - \cos\dfrac{\omega}{2}\right) \\
\text{„ „ Pericykloide} & s = 4\dfrac{R}{R_1}(R - R_1)\left(1 - \cos\dfrac{\omega}{2}\right) \\
\text{„ „ Orthocykloide} & s = 4R\left(1 - \cos\dfrac{\omega}{2}\right) \ldots\ldots \\
\text{„ „ Cykloorthoide} & s = {}^1/_2 R_1 \omega_1^2 \ldots\ldots\ldots
\end{array}\right\} \quad (13)$$

letzteres wieder wie vorhin nach Einführung von $\omega_1 = (R : R_1)\,\omega$ mit entsprechender Ausführung der Gleichung. Es verdient Beachtung, dass wir hier sowohl die Krümmungshalbmesser der Cykloiden, als auch deren Bogenlänge ohne Zuhülfenahme der Differenzialrechnung, einzig gestützt auf phoronomische Entwicklungen, zu ermitteln vermocht haben.

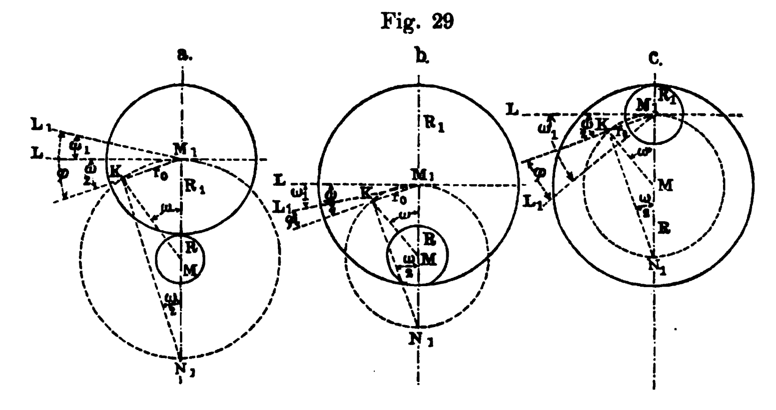
§. 10

Die homozentrischen Cykloiden

Weiter oben berührten wir schon mehrmals diejenigen Cykloiden, welche bis zum Mittelpunkte des Grundkreises „verlängert" oder „verkürzt" sind, deren Zug daher durch diesen Mittelpunkt läuft. Wir nannten sie daher homozentrische, also mittelsläufige Cykloiden. Solche werden von allen Punkten der Mittelsbahn, die dem rollenden Kreise zugehören würde, wenn er Grundkreis wäre, beschrieben. Diese Cykloiden haben einige Eigenthümlichkeiten, die eine nähere Betrachtung verdienen*); letztere führt besonders rasch zum Ziele, wenn man Polarkoordinaten benutzt.

Der Kreis R, Fig. 29 a, rolle auf R_1. Hat er den Winkel ω durchlaufen, so ist ein Punkt des mit $R+R_1$ aus M beschriebenen

Fig. 29



Kreises aus der Anfangslage M_1 in die Lage K gelangt, und es ist $M_1 K = 2(R + R_1) \sin \omega/_2$, welch letzterer Winkel auch gefunden wird, wenn man K mit dem Gegenpunkte N_1 des Punktes M_1 der Mittelsbahn $R+R_1$ verbindet. Um die Lagenänderungen von K im Kreise R_1, also die gewünschte Kurvengleichung, zu bestimmen, hat man zu beachten, dass bei der Drehung ω der

*) Zum erstenmal sind dieselben eingehend theoretisch behandelt worden von Durège, s. Z. für Math. u. Physik IX, 1864, S. 209: „Ueber eine besondere Art cyklischer Kurven", von mir gebührend angezogen in m. Th. Kinematik S. 598. Durège wendet die Bezeichnungen verlängert und verkürzt wie hier geschieht an, desgl. die Pericykloide.

Kreis R_1 in entgegengesetztem Drehungssinne den Winkel $\omega_1 = (R:R_1)\,\omega$ zurückgelegt hat, dass somit der anfangs rechtwinklig zu MM_1 belegene Radius $M_1 L$ in die Stellung $M_1 L_1$ gelangt ist, wobei Winkel $LM_1L_1 = \omega_1$. Da aber ausserdem Winkel $KM_1L = KN_1M_1 = \omega/_2$ ist, so hat der Winkel φ, um welchen der Fahrstrahl $r_0 = M_1K$ aus seiner Anfangslage geschritten ist, die Grösse $\varphi = \omega/_2 + \omega_1 = \omega/_2(1 + 2\,R/R_1)$. Im Falle b, Hypocykloide, wird $\varphi = \omega/_2 - \omega_1 = \omega/_2(1 - 2\,R/R_1)$ und im Falle c, Pericykloide, $\varphi = \omega_1 - \omega/_2 = \omega/_2(2\,R/R_1 - 1)$. Daher ergibt sich als Polargleichung der mittelsläufigen Kurve für:

$$\left.\begin{aligned} &\text{die Epicykloide} \ldots\ldots r_0 = 2\,R\left(\frac{R_1}{R}+1\right)\sin\frac{R_1}{R_1+2\,R}\,\varphi \\ &\text{die Hypocykloide} \ldots r_0 = 2\,R\left(\frac{R_1}{R}-1\right)\sin\frac{R_1}{R_1-2\,R}\,\varphi \\ &\text{die Pericykloide} \ldots r_0 = 2\,R\left(1-\frac{R_1}{R}\right)\sin\frac{R_1}{2\,R-R_1}\,\varphi \end{aligned}\right\} \quad (14)$$

Hiernach sind die mittelsläufigen Cykloiden sämmtlich Polarsinoiden; ein sie durchlaufender Punkt schwingt zwischen seinen beiden Endstellungen nach dem Sinusgesetz hin und her. Praktischen Werth haben die mittelsläufigen Cykloiden vor allem bei aufgehenden Mafsverhältnissen von R und R_1; einige derartige Zahlenwerthe seien deshalb hier vorgeführt.

Kleine Epicykloiden

$$\frac{R_1}{R} = 5 \ \ldots\ r_0 = 12\,R \sin \omega/_2 = 12\,R \sin {}^5/_7\,\varphi = {}^{12}/_5\,R_1 \sin {}^5/_7\,\varphi$$
$$\text{„} = 4 \ \ldots\ \text{„} = 10\,R \sin \omega/_2 = 10\,R \sin {}^2/_3\,\varphi = {}^5/_2\,R_1 \sin {}^2/_3\,\varphi$$
$$\text{„} = 3 \ \ldots\ \text{„} = 8\,R \sin \omega/_2 = 8\,R \sin {}^3/_5\,\varphi = {}^8/_3\,R_1 \sin {}^3/_5\,\varphi$$
$$\text{„} = 2 \ \ldots\ \text{„} = 6\,R \sin \omega/_2 = 6\,R \sin {}^1/_2\,\varphi = 3\,R_1 \sin {}^1/_2\,\varphi$$

Mittlere Epicykloide

$$\frac{R_1}{R} = 1 \ \ldots\ r_0 = 4\,R \sin \omega/_2 = 3\,R \sin {}^1/_3\,\varphi = 3\,R_2 \sin {}^1/_3\,\varphi$$

Grosse Epicykloiden

$$\frac{R_1}{R} = {}^1/_2 \ \ldots\ r_0 = 3\,R \sin \omega/_2 = 3\,R \sin {}^1/_5\,\varphi = 6\,R_1 \sin {}^1/_5\,\varphi$$
$$\text{„} = {}^1/_3 \ \ldots\ \text{„} = {}^8/_3\,R \sin \omega/_2 = {}^8/_3\,R \sin {}^1/_7\,\varphi = 8\,R_1 \sin {}^1/_7\,\varphi$$
$$\text{„} = {}^1/_4 \ \ldots\ \text{„} = {}^5/_2\,R \sin \omega/_2 = {}^5/_2\,R \sin {}^1/_9\,\varphi = 10\,R_1 \sin {}^1/_9\,\varphi$$
$$\text{„} = {}^1/_5 \ \ldots\ \text{„} = {}^{12}/_5\,R \sin \omega/_2 = {}^{12}/_5\,R \sin {}^1/_{11}\,\varphi = 12\,R_1 \sin {}^1/_{11}\,\varphi$$

Kleine Hypocykloiden

$$\frac{R_1}{R} = 5 \;\ldots\; r_0 = 8\,R\sin\omega/_2 = 8\,R\sin {}^5/_3\,\varphi = {}^8/_5\,R_1 \sin {}^5/_3\,\varphi$$

$$\text{„} = 4 \;\ldots\; \text{„} = 6\,R\sin\omega/_2 = 6\,R\sin 2\,\varphi = {}^3/_2\,R_1 \sin 2\,\varphi$$

$$\text{„} = 3 \;\ldots\; \text{„} = 4\,R\sin\omega/_2 = 4\,R\sin 3\,\varphi = {}^4/_3\,R_1 \sin 3\,\varphi$$

Mittlere Hypocykloide

$$\frac{R_1}{R} = 2 \;\ldots\; r_0 = 2\,R\sin\omega/_2 = R_1 \sin(\varphi = 0)\,^{*)}$$

Grosse Hypocykloiden

$$\frac{R_1}{R} = {}^3/_2 \ldots r_0 = R\sin\omega/_2 = R\sin 3\,\varphi = {}^2/_3\,R_1 \sin 3\,\varphi$$

$$\text{„} = {}^4/_3 \ldots \text{„} = {}^2/_3\,R\sin\omega/_2 = {}^2/_3\,R\sin 2\,\varphi = {}^1/_2\,R_1 \sin 2\,\varphi$$

$$\text{„} = {}^5/_4 \ldots \text{„} = {}^1/_2\,R\sin\omega/_2 = {}^1/_2\,R\sin {}^5/_3\,\varphi = {}^2/_5\,R_1 \sin {}^5/_3\,\varphi$$

$$\text{„} = {}^6/_5 \ldots \text{„} = {}^2/_5\,R\sin\omega/_2 = {}^2/_5\,R\sin {}^3/_2\,\varphi = {}^3/_2\,R_1 \sin {}^3/_2\,\varphi$$

Kleine Pericykloiden

$$\frac{R_1}{R} = {}^4/_5 \ldots r_0 = {}^2/_5\,R\sin\omega/_2 = {}^2/_5\,R\sin {}^2/_3\,\varphi = {}^1/_2\,R_1 \sin {}^2/_3\,\varphi$$

$$\text{„} = {}^3/_4 \ldots \text{„} = {}^1/_2\,R\sin\omega/_2 = {}^1/_2\,R\sin {}^3/_5\,\varphi = {}^2/_3\,R_1 \sin {}^3/_5\,\varphi$$

$$\text{„} = {}^2/_3 \ldots \text{„} = {}^2/_3\,R\sin\omega/_2 = {}^2/_3\,R\sin {}^1/_2\,\varphi = R_1 \sin {}^1/_2\,\varphi$$

Mittlere Pericykloide

$$\frac{R_1}{R} = {}^1/_2 \ldots r_0 = R\sin\omega/_2 = R\sin {}^1/_3\,\varphi = 2\,R_1 \sin {}^1/_3\,\varphi$$

Grosse Pericykloiden

$$\frac{R_1}{R} = {}^1/_3 \ldots r_0 = {}^4/_3\,R\sin\omega/_2 = {}^4/_3\,R\sin {}^1/_5\,\varphi = 4\,R_1 \sin {}^1/_5\,\varphi$$

$$\text{„} = {}^1/_4 \ldots \text{„} = {}^3/_2\,R\sin\omega/_2 = {}^3/_2\,R\sin {}^1/_7\,\varphi = 6\,R_1 \sin {}^1/_7\,\varphi$$

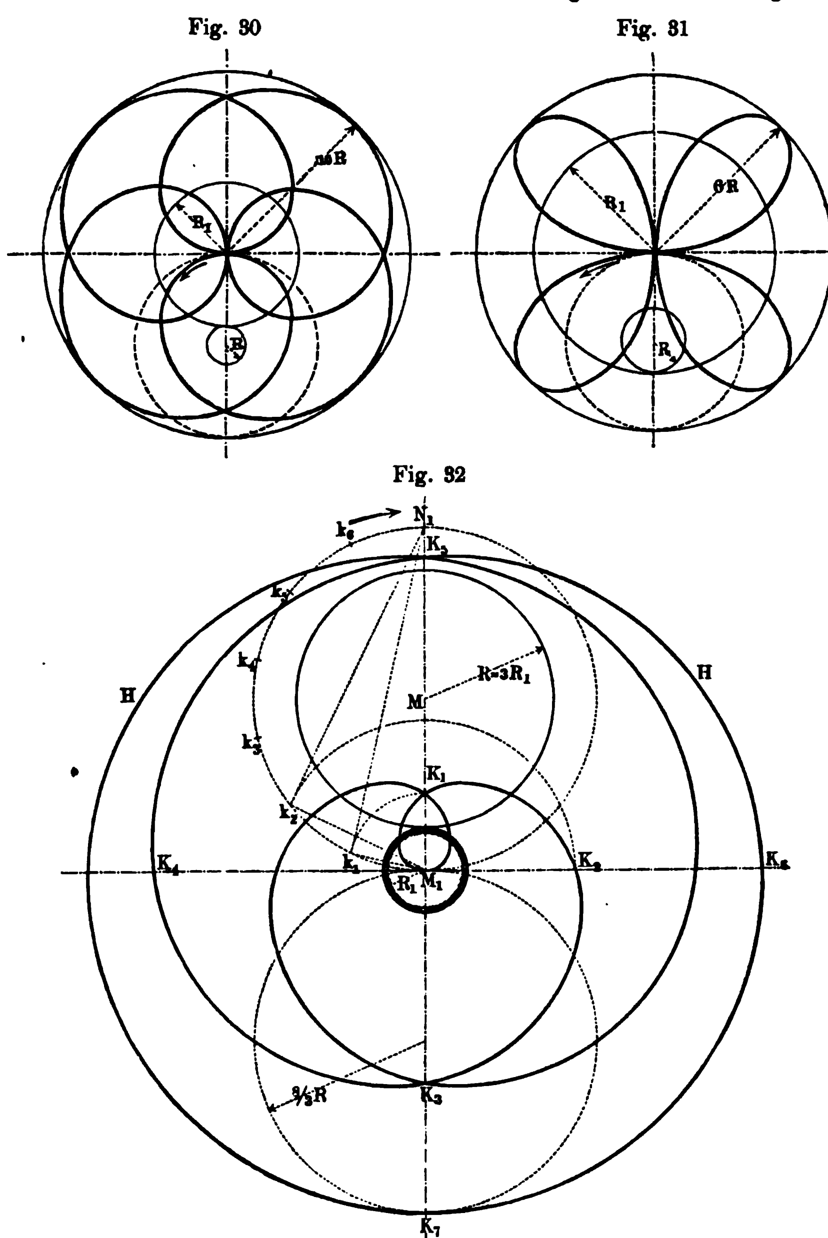
$$\text{„} = {}^1/_5 \ldots \text{„} = {}^8/_5\,R\sin\omega/_2 = {}^8/_5\,R\sin {}^1/_9\,\varphi = 8\,R_1 \sin {}^1/_9\,\varphi$$

Um Beispiele anzuführen, kann zunächst auf die früheren Figuren 1 bis 5 und 9 zurückverwiesen werden, die die mittelsläufige Form der dargestellten Cykloiden enthalten. Sodann

---

*) r_0 als Funktion von φ wird Null; die mittelsläufige Kurve wird die geradlinige Ellipse.

zeigt Fig. 30 die mittelsläufige 4tels-Epicykloide; sie hat vier weite, einander durchkreuzende Schleifen. Fig. 31 stellt als Gegen-



stück die mittelsläufige 4tels-Hypocykloide mit ihren schmalen, einander nicht durchkreuzenden Schleifen dar. Diese Kurvengattung besitzt eine gewisse Berühmtheit, indem sie durch Guido Grandi schon 1728 beschrieben worden ist, und zwar nicht bloss für vier, sondern für eine beliebige Zahl von Loben. Die vierlobige hat auch Cramer*) sehr schön unter Hinweis auf Grandi behandelt; beide haben die Kurve aber nicht als Cykloide, sondern nur als Sinoide erkannt; Grandi**) verfährt weitschweifig, da er statt des knappen algebraischen und trigonometrischen Ausdruckes noch dessen Umschreibung anwendet.

Fig. 32 zeigt die homozentrische $^{8}/_{1}$ tels-Epicykloide von der Gleichung $r_0 = {}^{8}/_{3} R \sin {}^{1}/_{7} \varphi$ oder $8 R_1 \sin {}^{1}/_{7} \varphi$. Der Halbkreis $M_1 N_1$ vom Durchmesser $^{8}/_{3} R$ oder $8 R_1$ ist in sieben gleiche Abschnitte $M_1 k_1$, $k_1 k_2$, $k_2 k_3$ . . . eingetheilt. Jeder Verbindungsstrahl von M_1 mit einem der Theilpunkte hat zur Länge die des Fahrstrahles für einen Kurvenpunkt, der vom vorausgehenden um 90° absteht. Man hat z. B. für den Strahl $M_1 K_1$ den Werth $r_0 = M_1 k_1 = N_1 M_1 \sin M_1 N_1 k_1 = 8 R_1 \sin {}^{1}/_{7} 180^0$.

Mit der $^{3}/_{1}$ tels-Epicykloide trifft in der gemeinen Form zusammen die $^{4}/_{1}$ tels-Pericykloide, in den ungemeinen Formen aber

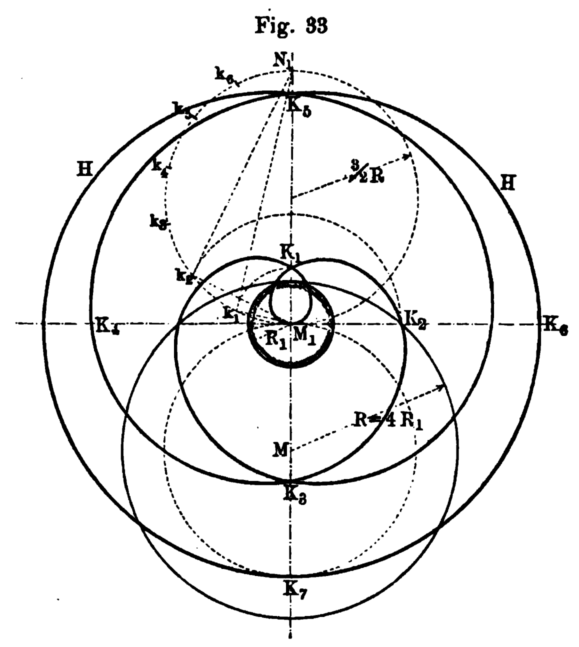
---

*) Introd. à l'analyse des lignes Courbes algébriques, Genf 1750, S. 414.

**) Einsicht in das äusserst seltene Buch von Grandi, betitelt *Flores geometrici ex Rhodonearum et Cloeliarum curvarum descriptione resultantes* verdanke ich der Güte der Verwaltung der Königlichen Bibliothek in Dresden. Grandi war Abt zu St. Michael und Professor der Math. an der Universität in Pisa. Unter „Flores" sind nicht figürlich Blüten der geometrischen Wissenschaft verstanden, sondern Figuren, die eine Blumenform haben. Ebene Figuren dieser Gattung, und zwar immer nur diejenigen, die oben als mittelsläufige Hypocykloiden besprochen sind, nennt Grandi Rhodoneen, also Rosen. Er bespricht aber auch sphärische Figuren derselben Gattung, bei denen die „Rosenblätter" auf einer Kugelfläche liegen. Diese, mehr körperlich erscheinenden „Blumen" nennt er Cloelien nach einer vornehmen, gelehrten Frau, Cloelia Grilli-Borromea mit Namen. Grandi befand sich auf dem besten Wege zu den sphärischen Cykloiden und würde wahrscheinlich diese entdeckt haben, hätte ihn nicht die hübsche Aeusserlichkeit der Blumenform gefangen genommen. In der geistvoll geschriebenen Widmung erinnert er nicht nur an die altrömische Cloelia, die dem Porsenna durch ihren Muth und ihre edle Haltung Achtung abzwang (Liv. II), sondern auch an die alexandrinische Hypatia, Theons unglückliche Tochter, welche die Kegelschnitte und die diophantischen Gleichungen behandelt hatte, zeigt überhaupt jene klassische Bildung, welche damals die, von ihm ausdrücklich genannte „Gelehrten-Republik" als etwas ihr Eigenes zusammenhielt. Seine geometrischen Blumen waren der Widmung zufolge schon 1723 in die englischen „Transactions" aufgenommen worden.

dann nicht, also auch nicht in der mittelsläufigen. Diese letztere ist in Fig. 33 für den Grundkreis der vorigen Figur dargestellt. Sie hat die Polargleichung $r_0 = {}^3/_2 R \sin {}^1/_7 \varphi = 6 R_1 \sin {}^1/_7 \varphi$. Auch hier ist die Eintheilung des Halbkreises $M_1 N_1$ in 7 tel das Mittel

Fig. 33



gewesen, die Kurvenpunkte, welche auf dem Achsenkreuz liegen, zu bestimmen. Die Verschiedenheit der beiden Kurven ist so augenfällig wie möglich.

Die mittelsläufige Orthocykloide

Für die Orthocykloide tritt in Formel (14) R_1 mit dem Werthe $\pm \infty$ ein, daher denn r_0 ebenfalls unendlich gross und die Kurve die gerade Mittelsbahn wird.

Die mittelsläufige Cykloorthoide

Hier wird der Halbmesser R des rollenden Kreises $= \pm \infty$. Die Kurve fällt aber mit ihren Anfängen um M_1 herum in die Endlichkeit hinein und r_0 wird gleich $R_1 \omega_1 \pm \infty$; sie fällt zusammen mit der archimedischen oder arithmetischen Spirale, wie schon oben (S. 21 u. 30) erwähnt wurde. Von dem Fahrstrahl r_0

haben wir das Anfangsstück $R_1\,\omega_1$ vor uns und können es für sich betrachten, wie denn ja auch von Archimeds Zeiten her geschieht.

§. 11

Die Ersetzbarkeit mittelsläufiger Cykloiden

Eine mittelsläufige Cykloide kann in zwei Fällen durch eine andere ersetzt werden. Der erste betrifft Epi- und Pericykloide, wenn*) für die Halbmesser R und R_1 bei der Epicykloide und die Halbmesser R' und R_1' bei der Pericykloide folgende Beziehungen bestehen:

$$R + R_1 = R' - R_1' \quad \text{und} \quad \frac{R'}{R_1'} = 1 + \frac{R}{R_1} \quad \cdot \cdot \quad (15)$$

wobei erstere Kurve eine verlängerte, letztere eine verkürzte ist. Bei Einsetzung dieser Werthe in Formel (14) ergibt sich Gleichheit der Fahrstrahlen r_0. Drücken wir das Gesagte in derjenigen Form aus, die wir S. 18 bei verwandten Vergleichen benutzt haben, so gelangen wir zu folgendem Lehrsatz:

VII. Die $m$tels-Epicykloide und die ($1 +$ ein $m$tels)-Pericykloide haben gleiche mittelsläufige Form, wenn die Halbmesser-Summe bei ersterer gleich dem Halbmesser-Unterschied bei letzterer ist.

Der zweite Fall der Ersetzbarkeit tritt bei den Hypocykloiden ein, wenn für die Halbmesser R, R_1, R' und R_1' die nachstehenden Beziehungen gelten:

$$R_1 - R = R_1' - R' \quad \text{und} \quad \frac{R}{R_1} = 1 - \frac{R'}{R_1'} \quad \cdot \cdot \quad (16)$$

wobei die erste Kurve eine verlängerte, die zweite eine verkürzte mittelsläufige Hypocykloide ist. Die Einsetzung dieser Verhältnisse in Formel (14) führt zu Gleichheiten der Werthe für r_0 und lässt sich in folgenden Lehrsatz fassen:

VIII. Die $m$tels- und die ($1 -$ ein $m$tels)-Hypocykloide haben gleiche mittelsläufige Form, wenn der Unterschied zwischen Grund- und Rollkreis bei ihnen dieselbe Grösse hat.

In Fig. 34 (a. f. S.) ist unter a eine dreilobige homozentrische Epi- und zugleich Pericykloide mit ihren zwei Paaren von Er-

*) Siehe Durège a. a. O.

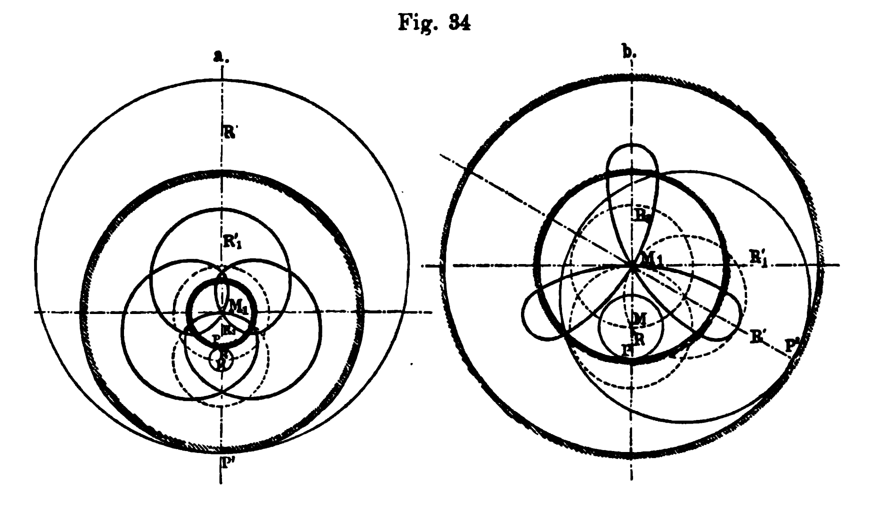
zeugungskreisen, unter b eine dreilobige mittelsläufige Hypocykloide, ebenfalls mit ihren beiden Paaren von Erzeugungskreisen dargestellt.

Für a hat man wegen $R:R_1 = {}^1/_3$ in (15) zu setzen $R':R_1' = 1 + {}^1/_3 = {}^4/_3$. Ferner $R\,(1 + R_1 : R) = R'\,(1 - R_1' : R')$, d. i. $R\,(1 + 3) = R'\,(1 - {}^3/_4)$ oder $R : R' = {}^1/_{16}$.

Für b liefert Formel (16) bei $R:R_1 = {}^1/_3$ den Werth $R':R_1' = 1 - {}^1/_3 = {}^2/_3$; sodann $R_1'\,(1 - R' : R_1') = R_1\,(1 - R : R_1)$, d. i. $R_1'\,(1 - {}^2/_3) = R_1\,(1 - {}^1/_3)$ oder $R_1' = 2\,R_1$.

Die Lobenzahl der entstehenden mittelsläufigen Kurven, welche, wie oben erwähnt, Polarsinoiden sind, bietet sich nicht ganz ohne Weiteres dar. Ist in der Formel $r_0 = a \sin k\varphi$ der Koëffizient k

Fig. 34



eine ganze Zahl, so ist leicht zu ersehen, dass die Lobenzahl (wegen des Zusammenfallens der Werthe mit π):

$= k$ wird, wenn k eine ungerade, und
$= 2k$, wenn k eine gerade Zahl ist.

Weniger einfach verhält es sich aber, wenn k ein Bruch ist. Wir haben schon oben vorausgesetzt, dass aufgehende Verhältnisse vorlägen; das bedeutet hier, dass Zähler z und Nenner n dieses Bruches ganze Zahlen sind. Es seien nun z und n auf kleinste Benennung gebracht, dann ist die Lobenzahl

$= z$, wenn z und n beide ungerade, und
$= 2z$, wenn nur eine von beiden gerade ist.

Hiernach hat man für

$k = 3$ die Lobenzahl $= 3$
$k = 4$ „ „ $= 8$
$k = {}^1/_5$ „ „ $= 1$
$k = {}^1/_7$ „ „ $= 1$ (siehe Fig. 32)
$k = {}^5/_3$ „ „ $= 5$
$k = {}^3/_2$ „ „ $= 6$
$k = {}^5/_2$ „ „ $= 10$

Die besprochenen Beziehungen zwischen den Cykloiden und den Polarsinoiden sind recht bemerkenswerth. Zu beachten bleibt bei ihnen, dass die Polarsinoide und die mittelsläufige Cykloide nicht eines und dasselbe sind. Denn bei der Polarsinoide von der Gleichung $r = a \sin k \varphi$ sind die Werthe a und k von einander unabhängig, können beliebig jeder für sich gewählt werden; bei den mittelsläufigen Cykloiden stehen sie dagegen in dem besonderen, oben dargelegten Zusammenhange. Die Polarsinoiden finden in der Kinematik noch mehrfache Verwendung. Es gibt übrigens noch eine andere Stelle, wo Sinuslinie und Kreisrollungslinie in Zusammenhang gerathen; dies sei nunmehr noch in Kürze besprochen.

§. 12

Orthocykloide und Sinoide

Schon vor zwei Jahrhunderten hat Roberval bei Behandlung der Orthocykloide gezeigt, dass, wenn man durch die Punkte K

Fig. 35

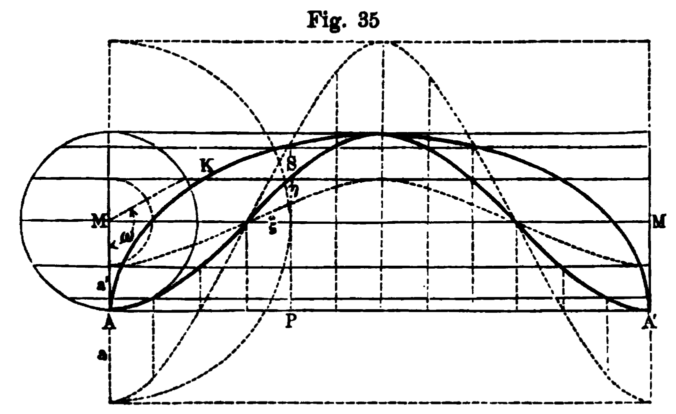


Fig. 35 der gemeinen Orthocykloide Parallelen zur Grundlinie zieht und in sie mit Senkrechten aus den zugehörigen Roll-

punkten einschneidet, die Schnittpunkte S in einer Sinuslinie oder Sinoide liegen (diesmal einer Kurve mit Parallelkoordinaten). Er nannte deshalb diese Kurve die Gefährtin, *socia*, *comes*, der (Ortho-) Cykloide. Die ausserordentlich feine Weise, in welcher er die Gefährtin zur Flächen-Ausmessung der Orthocykloide benutzte, ist hier zu übergehen. Dagegen ist hinzuzufügen, dass allgemeiner eine Sinoide auch dann der Ort der Schnittpunkte ist, wenn K einer verkürzten oder einer verlängerten Kurve angehört. Ist dann ξ die Abszisse des Rollpunktes, so ist die Ordinate η der Sinoide, wenn man die Mittelsbahn als Ordinatenachse wählt,

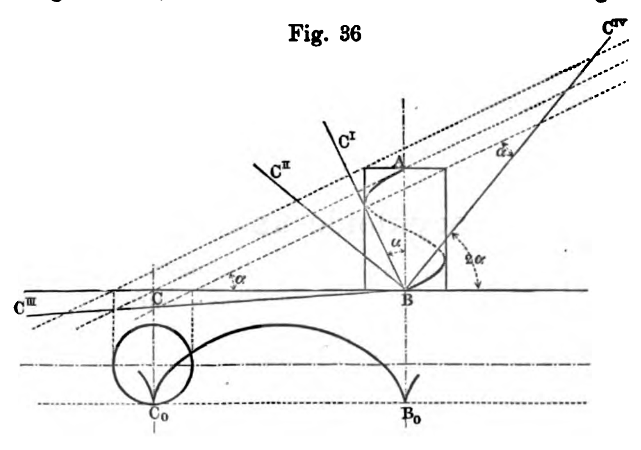
$$\eta = (R \pm a) \sin(\omega - 90) \quad \text{und} \quad \xi = R(\omega - 90)$$

oder:

$$\eta = (R \pm a) \sin \frac{\xi}{R} \quad \text{. . . . . (17)}$$

Diese Gefährtin der Orthocykloide ist nun zwar nicht deren mittelläufige Form, aber sie hat die andere wichtige Eigen-

Fig. 36



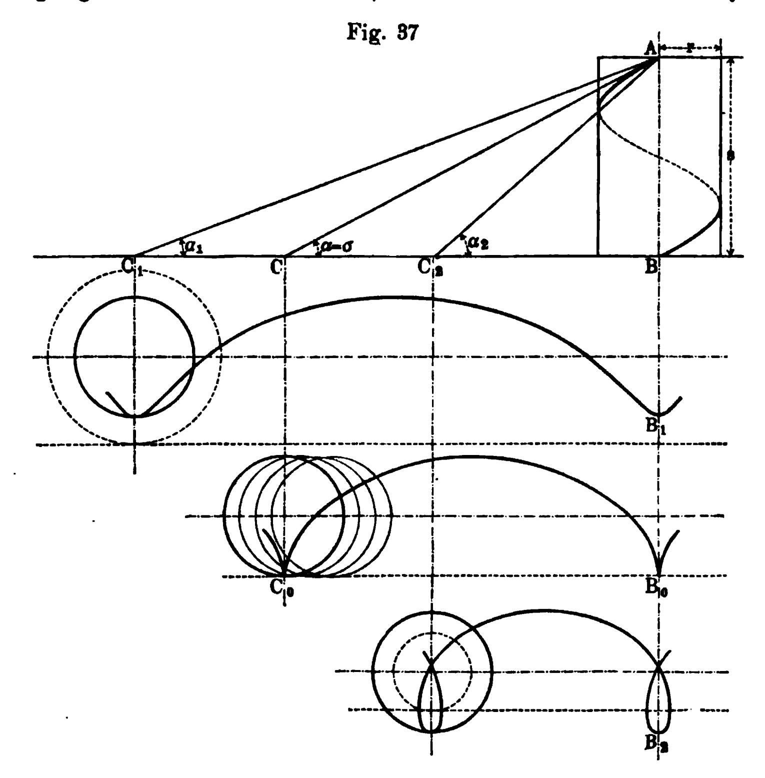
schaft, die rechtwinklige Projektion der gemeinen Schraubenlinie auf eine, zu deren Achse parallele Ebene zu sein. Die Parallel-Projektion derselben Linie auf die Grundfläche der Schraube ist eine Orthocykloide. Demnach hängen die beiden Kurven eng zusammen. Der Beweis zu letzterem, schon lange bekannten Satze*) würde nicht hierher gehören, da er einem anderen Gebiete angehört. Ich gestatte mir indessen, ihn

*) Nach Mittheilung von Prof. Dr. Hertzer trug Prof. Pohlcke u. a. ihn bereits 1852 am K. Gewerbe-Institut in Berlin vor. Rechnerisch nachgewiesen findet er sich schon bei E. G. Grebe, in dessen Dissertation „De linea helice ejusque projectionibus", Marburg 1829.

in Kürze dennoch hier zu führen, da der phoronomische Weg schneller als jeder andere zum Ziele führt.

Wenn die Projektionsstrahlen den Schraubencylinder AB, Fig. 36, in gleichen Stufen herabschreiten, umschreiben sie in der Bildebene gleichmäfsig auf einander folgende Kreise vom Durchmesser $2r$ des Schraubencylinders. Ist die ganze Schraubensteigung $AB = s$ durchlaufen, so ist das Kreisbild von C_0 im

Fig. 37



Grundriss bis zur Achsenprojektion B_0 vorgeschritten. Dabei ist die Spur desjenigen Strahles, der der Schraubenlinie folgt, auf dem wandernden Kreise gleichförmig fortgeschritten. Das ist aber der phoronomische Vorgang bei Erzeugung einer Orthocykloide.

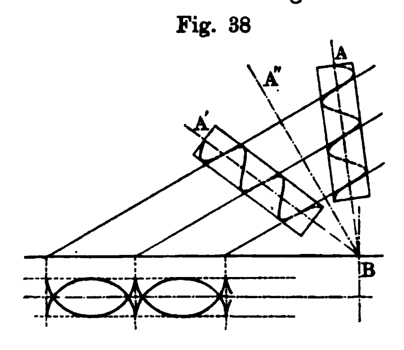
Ist der Winkel α, den der Projektionsstrahl mit der Bildebene einschliesst, gleich dem Steigungswinkel σ der Schraubenlinie, so ist das Bild eine gemeine Orthocykloide. Es ist nämlich $BC \,.\, tg\,\alpha = AB = s$, aber $tg\,\alpha = tg\,\sigma = s : 2\pi r$, somit $BC = s : tg\,\alpha$, d. i. gleich $2\pi r$ oder gleich dem Umfange des auf

der Bildebene fortschreitenden Kreises. Ist $\alpha < \sigma$, wie α_1 in Fig. 37 (a. v. S.), so wird das Bild eine verkürzte, ist $\alpha > \sigma$, wie α_2, so wird es eine verlängerte Orthocykloide.

Schiebt man, s. Fig. 36, senkrecht zu unserer Papierfläche eine neue Bildebene ein, die durch B geht, so erkennt man alsbald die auf ihr entstehenden Bilder als schräge Projektionen des Bildes auf der Grundfläche. Die Bilder werden zusammengedrängt oder auch ausgereckt, je nachdem die neue Bildebene BC', BC'', BC''' gelegt wird. Am stärksten gedrängt wird das Bild, wenn Winkel $C'BA = \alpha$. Ganz gleich dem ersten Bilde wird das neue bei der Lage $B'C^{IV}$ der eingeschobenen Bildebene, wenn Winkel $BC^{IV}A = \alpha$ gemacht wird. Somit kommt diejenige Abbildung der Schraubenlinie, welche eine Orthocykloide wird, zweimal vor, das erstemal auf der Grundfläche, das anderemal auf der, gegen dieselbe um 2α geneigten eingeschobenen Bildebene, wie denn überhaupt alle Schiefen symmetrisch zu BC' zweimal vorkommen. Dies scheint bisher nicht beachtet worden zu sein. Stellt man die neue Bildebene nicht senkrecht zum Papier, so entstehen auf ihr zweifach schiefe Projektionen der Orthocykloide als Bilder der Schraube.

Bemerkenswerthe Bilder der Schraubenlinie erhält man, wenn man die Strahlrichtung zuerst den aufsteigenden, dann den absteigenden Act der Schraubenlinie geometrisch berühren lässt, siehe bei A und bei A' Fig. 38. Es entstehen dann auf der Bildfläche orthocykloidische Bilder, bei denen die Grundlinie einmal unter-, einmal oberhalb der geraden Mittelebenen fällt. Die mittlere Richtung des Projektionsstrahls zwischen den beiden genannten ist die senkrecht zur Schraubenachse stehende, siehe bei A'' Fig. 38; das mit dieser erzeugte Schraubenbild wird die Sinoide. Eine Folge von Orthocykloiden im ähnlichen Grundlinienwechsel gibt weiter unten Fig. 58, S. 71.

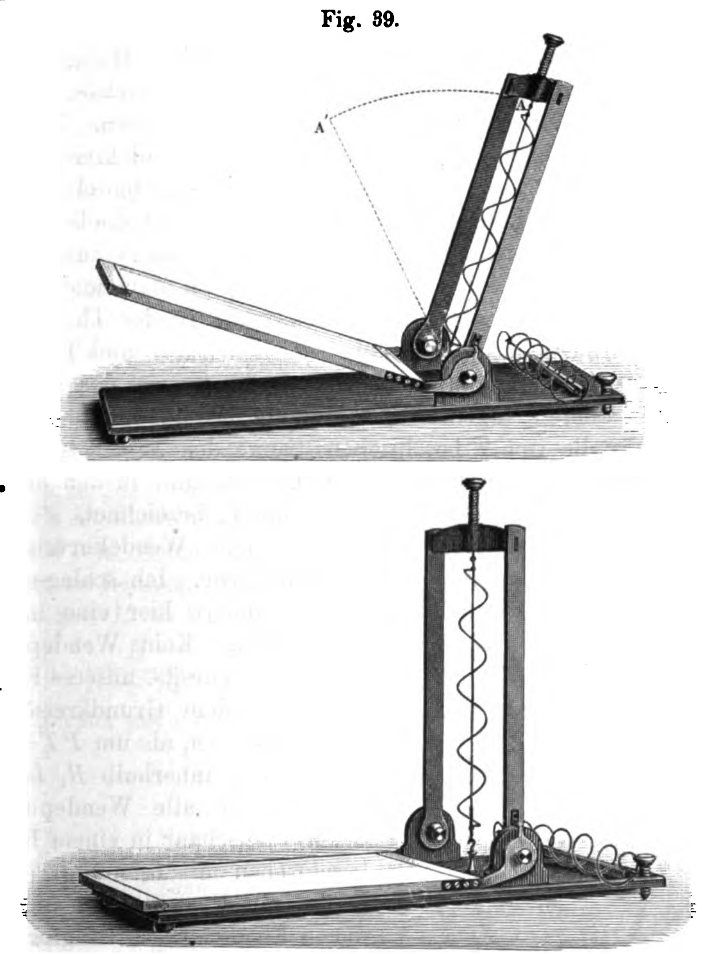
Fig. 38



Alle diese Erscheinungen und was damit zusammenhängt, kann man für den Unterricht zur Anschauung bringen, wenn man als Projektionsstrahlen die Sonnenstrahlen benutzt, denen man ein Drahtmodell einer

Schraube aussetzt. Herr J. Schröder in Darmstadt*) hat auf meine Anregung hin ein Schaumodell, Schraubenschattenzeiger genannt, gebaut. Fig. 39 stellt dasselbe in zwei Ansichten dar. Die Schraubenachse sowohl, als die Bildebene kann man unter verschiedenen Winkeln einstellen und erhält auf diese Weise in den Schraubenschatten die ganze Reihe der besprochenen Schraubenlinienbilder, ja auch die erwähnten zweifach schiefen

Fig. 39.



Abbildungen, wenn man die Lage des Modells gegen die Sonnenstrahlen entsprechend wählt. Es sind mehrere Drahtmodelle von Schrauben der Vorrichtung beigegeben, um den Einfluss des Steigungswinkels deutlich machen zu können. Bei hellem Sonnenlicht erscheinen die Bilder sehr scharf; die Handhabung des Ganzen ist ungemein leicht.

*) J. Schröders polytechnisches Arbeitsinstitut in Darmstadt.

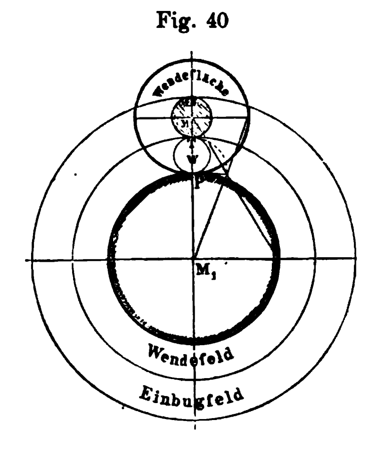
§. 13

Wende- und Einbugkurven der Epicykloiden

Fasst man alle Cykloiden für ein gegebenes Kreispaar wie in §. 5 geschehen ins Auge, so bemerkt man, dass alle Punkte einer Ringfläche von der radialen Ausdehnung $PT = W$, gemessen vom Rollpunkte P nach dem Inneren des rollenden Kreises, Kurven mit Wendepunkten oder „Wendekurven" beschreiben. Der am weitesten nach innen gelegene Punkt T des Wendekreises, den ich den Wendekreisscheitel oder kürzer Wendescheitel nennen will, beschreibt die innerste Wendekurve. Diese hat die besondere Eigenschaft, dass bei T in ihr zwei Wendepunkte zusammentreffen; sie zeigt deshalb ein noch innigeres Zusammenfallen mit der Tangente, als die übrigen Wendekurven. In der That findet bei T Berührung höherer Ordnung zwischen Kurve und Tangente statt. Da zugleich hier ausserdem auch die Grenze der Kurvenfolge liegt, deren Eigenthümlichkeit die Wendepunkte bilden, habe ich für die von T beschriebene Kurve den Namen tropische Cykloide gewählt. Die tropischen Cykloiden sind in den obigen Figuren 1 bis 5 stets angegeben und mit T_r bezeichnet.

Die Punkte der Kreisfläche R, welche Wendekurven beschreiben, liegen in der erwähnten Ringfläche. Ich schlage deshalb vor, diese die Wendefläche, insbesondere hier eine innere zu nennen. Kein Wendepunkt der Cykloidenreihe unseres Falles kann von dem Grundkreise R_1 weiter abliegen, als um $PT = W$, keiner auch innerhalb R_1 fallen. Somit liegen alle Wendepunkte der Kurvenschaar in einem Ringe beschrieben mit R_1 und $R_1 + W$ in der mit Kreis R_1 fest verbundenen Ebene. Dieses ringförmige Feld möchte ich das Wendefeld nennen. Wendefläche und Wendefeld sind für unseren Fall in Fig. 40 eingetragen.

Fig. 40



Sehr beachtenswerth, und zwar mehr, als bisher gewöhnlich angenommen worden ist, sind die Kurven, welche von Punkten

der hier innerhalb der Wendefläche liegenden Kreisfläche beschrieben werden. Sie sind verkürzte Epicykloiden, laufen deshalb in wellenförmigen Zügen über und unter der Mittelsbahn M her, haben aber, trotz ihrem welligen Verlauf, keine Wendepunkte. Ihre Krümmungskreise berühren die Kurve stets an deren Innenseite, die Kurven haben daher nur einerlei, immer nach aussen erhabene Biegung. Ich suche diese Eigenschaft dadurch kurz auszudrücken, dass ich sie Einbugkurven nenne. Der kleine Kreis, mit MT als Halbmesser um M beschrieben, ist deshalb hier eine Einbugfläche, insbesondere eine innere Einbugfläche, der Ring um M_1 von den Halbmessern $R_1 + W$ und $R_1 + 2R - W$ das zugehörige Einbugfeld. Die Mittelsbahn M, welche stets eine Einbugkurve ist, hat die einfachste Gestalt der ganzen Schaar; sie ist, wie sich hier nochmals deutlich herausstellt, auch die kürzeste von allen Cykloiden, weshalb sie oben die konzentrirte Form genannt wurde. Diejenigen Punkte des rollenden Kreises, welche ausserhalb der Wendefläche liegen, beschreiben einbugige Cykloiden mit Schleifen; mit einer Gattung derselben, den mittelsläufigen, haben wir uns in §. 10 bereits ausführlich beschäftigt.

Es ist manchmal von Werth, die Einbugfläche und das Einbugfeld vor vielen anderen Eigenthümlichkeiten der Cykloidenschaar zu kennen. Bezeichnen wir den Halbmesser der Einbugfläche mit E, so haben wir $E = R - W$, daher:

$$\frac{E}{R + R_1} = \frac{R - W}{R + R_1} = \frac{R}{R + R_1} - \frac{RR_1}{(R + R_1)^2}$$

und daraus nach einiger Umformung:

$$\frac{E}{R + R_1} = \frac{1}{\left(1 + \frac{R_1}{R}\right)^2} \quad \ldots\ldots \quad (18)$$

Beispiel. Betrachtet man die Mittelsbahn der Erde, die wir ja gewöhnlich die Erdbahn nennen, als Kreis und vernachlässigen die geringe Schiefe der Mondbahn gegen die Ekliptik, so haben wir in der Bewegung des Mondmittels gegen die Ekliptik und um deren Mitte eine epicyklische Bewegung vor uns, bei der $R + R_1$ *rund 20 Millionen Meilen beträgt.* $12^1/_2$ *Umläufe im Jahre angenommen, ist* $R_1 : R = 12{,}5$, *also* $R = {}^1/_{13{,}5} \cdot 20\,000\,000 = 1481481$ *Meilen. Der Halbmesser der Einbugfläche wird:*

$$E = \frac{20\,000\,000}{(1 + 12{,}5)^2} = \frac{20\,000\,000}{182{,}25} \sim 109\,600 \text{ Meilen.}$$

Unser Mondstrahl ist aber nur rund 50 000 Meilen lang. Der Mond befindet sich demnach immer in der Einbugfläche, die Bahn seines Mittel-

punktes ist eine Einbugkurve, im Einbugfelde liegend. Ihre sogenannten Evektionen in letzterem haben deshalb keine anderen, als nach innen gerichtete Krümmungsstrahlen. Dies ist der einzige Fall in unserem Planetensystem*), auch den neuentdeckten innersten Jupitermond mitgerechnet. Um eine nähere Vorstellung von der sich hier ergebenden Einbugkurve zu ermöglichen, ist am Ende des Buches auf einer zum Herauslegen eingerichteten Tafel die Zeichnung einer verkürzten Epicykloide gegeben, bei der $R_1 : R = 12$, die also eine verkürzte 12tels-Epicykloide ist. Auf die mit eingetragene Reiflinie der Kurve komme ich später zurück.

§. 14

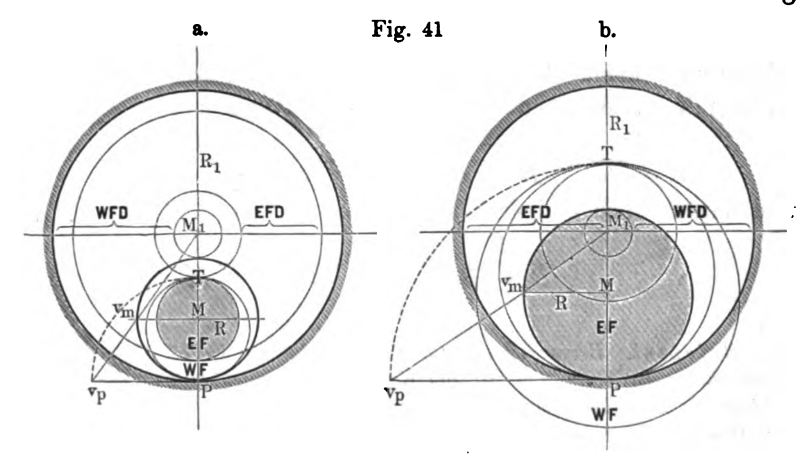
Wende- und Einbugkurven unter den übrigen Cykloiden

Untersuchungen der vorstehenden Art führen bei den Hypocykloiden zu folgenden Ergebnissen. Zunächst ist, da hier R_1 negativ ausfällt, die Wendekreishöhe:

$$W = \frac{R R_1}{R_1 - R} \quad \text{. . . . . (19)}$$

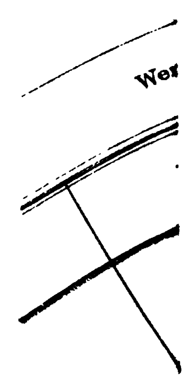
Bei der „kleinen" Hypocykloide, Fig. 41 a, liefert dies $W < R_1$. Die Wendefläche WF am rollenden Kreise wird ein Kreisring

Fig. 41



von den Halbmessern MT und R; innerhalb dieser Wendefläche liegt die Einbugfläche EF. Wendefeld und Einbugfeld sind die

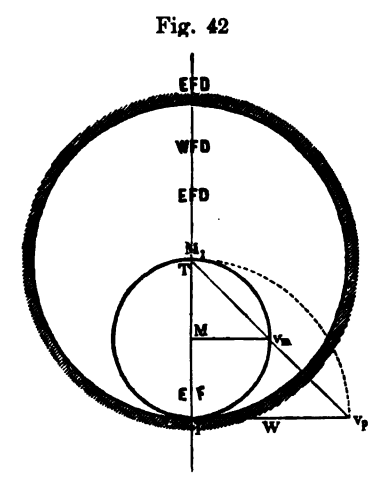
*) Prof. Weyer in Kiel hat auf analytischem Wege die Mondbahn in dieser Richtung genauer untersucht, s. Astr. Nachr. Bd. 126, Oktober 1890. Selbst die Marsmonde beschreiben in ihrem Umlaufe um die Sonne, trotzdem sie ihrem Planeten so nahe kreisen, keine Einbug-, sondern Wendekurven.



Kreisringe *WFD* und *EFD*. Bei der „grossen“ Hypocykloide, Fig. 41 b (a. v. S.), wird der Wendekreis höher als R_1, die Einbugfläche fällt innerhalb, die Wendefläche ausserhalb des Rollkreises.

Wenn $R = {}^1/_2 R_1$, d. i. bei der „mittleren“ Hypocykloide, schrumpft die, in den beiden vorigen Fällen ringförmige Wendefläche auf einen Kreis ein, den Wendekreis, der ausserdem mit dem rollenden Kreise zusammenfällt, Fig. 42. Daraus folgt Merkwürdiges. Die ganze Ebene, innere wie äussere Fläche des Rollkreises, wird zur Einbugfläche, desgleichen die ganze Ebene des Grundkreises zum Einbugfeld. Alle Cykloiden nehmen dabei die Gestalt von Ellipsen an, vergl. oben Fig. 12 und 13. Alle Umfangspunkte des rollenden Kreises liegen unausgesetzt im Wendekreise, d. h. durchlaufen fortwährend Wendepunkte der beschriebenen Hypocykloide; diese hat also immer unendlich ferne Krümmungsmittelpunkte, muss also eine Gerade werden. Sie fällt mit einem Durchmesser des ruhenden Kreises zusammen, denselben bei einem ganzen Umlaufe des rollenden Kreises zweimal durchlaufend, und ist eine Ellipse von der grossen Halbachse R_1 und der kleinen Halbachse Null; es ist die schon wiederholt erwähnte geradlinige Ellipse.

Fig. 42



Bei der Pericykloide wird R negativ, so dass die Wendekreishöhe

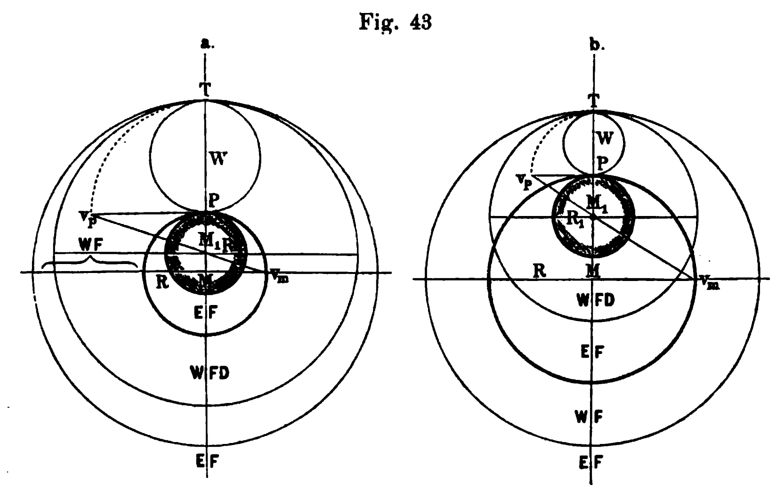
$$W = \frac{R R_1}{R - R_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

wird. Der Wendekreis fällt ausserhalb beider Hauptkreise; Fig. 43 (a. f. S.) zeigt das Weitere. Bei der mittleren Pericykloide erhält der Wendekreis die Höhe $W = R = 2 R_1$. Die Wendefläche umringt stets den rollenden Kreis und wird ihrerseits umringt durch die Einbugfläche.

Bei der Orthocykloide, Fig. 44 (a. f. S.), bekommt der Wendekreis die Höhe $W = {}^1/_2 R$, da die Radien des unendlich grossen Grundkreises senkrecht zu der, den letzteren darstellenden Grundlinie

fallen. Alle verkürzten Cykloiden ohne Ausnahme erhalten Wendepunkte, das ganze Innere des Rollkreises ist also Wendefläche; innere Einbugkurven fehlen. Der Wendescheitel T fällt mit dem Mittelpunkte M zusammen; die Mittelsbahn ist also zugleich

Fig. 43

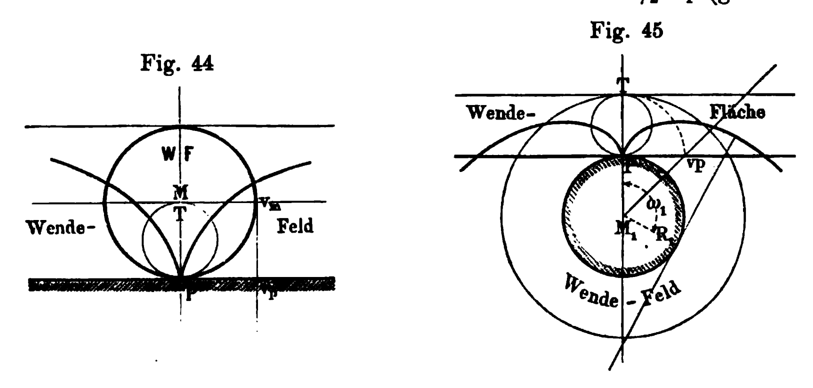


überall tropische Kurve (vergl. oben Fig. 4). Alle verlängerten Kurven bekommen Schleifen.

Endlich die Kreisevolvente oder Cykloorthoide, Fig. 44. Ihr Wendekreis bekommt zur Höhe den Werth $W = {}^1/_2 R_1$ (gemäss

Fig. 44

Fig. 45



Satz III, §. 5, auch weil Winkel $PM_1 v_p$ beim Wachsen von R bis zu unendlicher Grösse zu 45^0 wird). Die Wendefläche wird ein gerader Streifen zwischen der rollenden Geraden und deren Parallelen durch T; ausserhalb dieses Streifens liegt zu beiden Seiten Einbugfläche.

§. 15

Stabbahnen und Reifbahnen

Die Betrachtungsweise, dass der Krümmungshalbmesser einer Kurve einen unendlich dünnen, aber undehnbaren und zugleich völlig biegsamen Faden darstelle, der auf einen Cylinder von der Grundfigur gleich der Evolute eben aufgewickelt oder von ihm abgewickelt werde, liegt nahe und ist seit langer Zeit in der Geometrie beliebt und anerkannt. Sie hat zu den Namen Evolute und Evolvente, Evolution und Involution geführt. Trotz dieser wichtigen Umstände besorge ich, dass man die Betrachtungsweise nicht überall gutheissen kann. Ich bin deshalb im Vorausgehenden schon wiederholt davon abgewichen, beeile mich aber nunmehr, die Gründe dafür näher darzulegen.

Zunächst setzt das Gleichniss noch voraus, dass der geometrische Faden durch eine Zugkraft stets gespannt erhalten werde. Das sind im Ganzen vier, keineswegs leichte Bedingungen mechanischer Natur, welche in die bildliche Vorstellung aufgenommen sind. Trotzdem gestattet das Gleichniss nicht, etwa auf der Rückwärtsverlängerung des Fadens, der ja beim Aufwicklungspunkte krumm wird, einen beschreibenden Punkt anzunehmen, noch weniger, den beschreibenden Punkt ausserhalb des geometrischen Fadens, etwa in bestimmten Abständen von zweien seiner Punkte zu wählen; der Aufbau der Bedingungen müsste hierfür ins Ungeschickte erhöht werden. Gerade derartige Aufgaben bieten sich aber häufig in der Phoronomie dar.

Es scheint mir deshalb für viele Fälle empfehlenswerth, ein anderes als das übliche mechanische Gleichniss zur Hülfe heranzuziehen*). Ich finde ein passendes in einem allgemein-cylindrischen Reife und einem geraden Stabe, zwischen denen reine Rollung vorausgesetzt wird.

*) Derartige Gleichnisse sind auch sonst schon in der Geometrie üblich. Schon das Wort Linie ist Gleichniss, da es unbildlich einen Leinenfaden bezeichnet und im Deutschen auch in Leine hätte übergehen können, wie im Englischen (*line*); andrerseits wird die Wäscheleine im Norden von Deutschland Zeuglinie genannt. Im Französischen bedeutet *ligne* noch heute sowohl die Schnur, als auch das geometrische Gebilde. Ein anderes solches Gleichnisswort ist Sehne, im Französischen *corde*, sodann Loth u. a. m.; mannigfache Beispiele auch bietet die geometrische Sprache der Alten, kurz, die Verwendung von Gleichnissen zur Wortbildung in der Geometrie ist durchaus üblich.

Den Stab kann man sich beliebig lang vorstellen, kann also vor- wie rückwärts auf seinem Rande den beschreibenden Punkt angebracht denken, auch denselben ausserhalb der Randlinie, zur einen wie zur anderen Seite der Stabkante, mit dem Stabe fest verbunden annehmen. Beim Uebergange von der bildlichen zur geometrischen Vorstellung wird der Stab eine Gerade, auf welcher eine Kurve, oder welche auf einer Kurve gleich der Randlinie des Reifes rollt. Die Namen aber können nach wie vor, ganz so wie beim Bilde vom Wickeln, dem mechanischen Gleichniss entnommen werden, und gerade das ist ja der Zweck solcher Bilder. Die Bahnen, welche die mit der Geraden fest verbundenen Punkte gegen die Kurve beschreiben, kann man dann Stablinien oder Stabbahnen, die von der Reiflinie und ihrem Zubehör gegen die Gerade beschriebenen Reifbahnen nennen. „Reif und Stab“ bilden, wenn so benutzt, die geometrischen Hauptmittel bei Aufsuchung der Krümmungsverhältnisse der ebenen Kurven. Den Namen Reiflinie für Evolute habe ich wiederholt im Vorausgehenden schon gebraucht.

Wenn wir ins Auge fassen, wie „Reif und Stab“ zu dem noch allgemeineren phoronomischen Falle stehen, dass zwei ebene Kurven gegenseitig rollen, so sehen wir, dass bei diesen „Reif auf Reif“ in gegenseitiger Rollbewegung betrachtet werden. Dies aber spiegelt sich wieder in der Bezeichnung Trochoide, die man jenen Punktbahnen gegeben hat oder gibt, welche eine der Kurven nebst Zubehör in der Ebene der Partnerkurve durchläuft. *Trochos* ist eben gleich Reif. Es scheint mir sehr schwierig, einen kurzen deutschen Ausdruck für Trochoide anzugeben, da „Zweireifbahn“, worauf man verfallen könnte, sicher zu schwerfällig wäre. Behält man unter diesen Umständen „Trochoide“ für den allgemeinen Fall bei, so ist das sowohl sehr dienlich, als sich auch daraus mehrere Folgerungen ergeben.

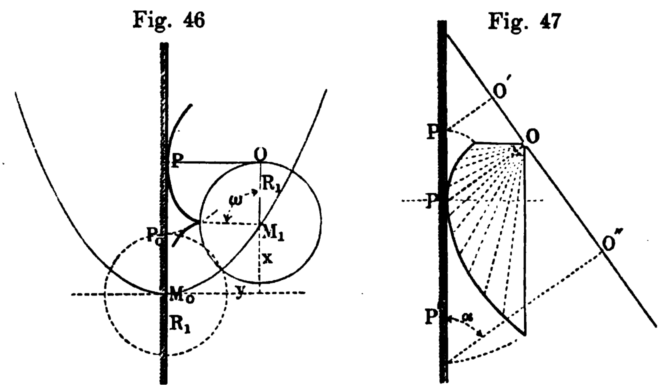
Zunächst gelangt man, wenn die rollenden Kurven aus der allgemeinen Trochosform in bestimmte Einzelformen übergehen, zu den Einzelnamen Cykloide, Elliptoide, Paraboleïde, Hyperboleïde, welche drei letzteren ich weiter unten benutze, als zu ganz deutlich erkennbaren Einzelfällen; die „Reife“ sind dann Kreis, Ellipse, Parabel, Hyperbel. Dann aber kann man die englische Methode, die für Cykloide „Trochoide“ gebraucht, nicht als empfehlenswerth anerkennen. Hierin stützt sich zwar die

englische Schule auf beachtenswerthe Vorgänge. Denn zu Torricellis und Robervals Zeiten nannte man die Orthocykloide gelegentlich Trochoide, wenn auch mit Vorzug Cykloide. Roberval (1602 bis 1675) wandte aber daneben für dieselbe Kurve auch den Namen Roulette an, der sich dann später bei den Franzosen verallgemeinert hat auf das, was eben in Rede steht, nämlich auf Trochoide in dem vorhin betonten allgemeineren Sinne. Es herrscht also Unsicherheit; immerhin aber darf man wohl von einer Neigung bei den Geometern sprechen, den Namen Trochoide für die allgemeinen Fälle aufzusparen und deshalb auch hoffen, dass die neuerdings wiederum versuchte Einführung von „Trochoide" für „Cykloide" bei uns nicht festen Fuss fassen werde*).

*) Ich selbst habe mich für kurze Zeit der Neigung zu „Trochoide" für „Cykloide" schuldig gemacht, um es so zu nennen (in meiner „Theor. Kinematik"), habe mich aber durch sachgemäfse Kritik eines Besseren belehren lassen und bin nach 1873 wieder zu der alten, vorzüglichen Form „Cykloide" zurückgekehrt. Man kann für sie in manchen Fällen, wo es das Verständniss erhöht, den von Oerstedt vorgeschlagenen Namen Radlinie, sowie die Weiterbildungen Auf-, In-, Umradlinie mit Vortheil gebrauchen, kann aber deshalb „Cykloide" nicht wohl entbehren, weil sich aus „Radlinie" nicht so treffliche Eigenschaftswörter wie cykloidisch, epi-, hypo-, pericykloidisch usw. bilden lassen. So wesentlich es für die Erweckung und Schärfung des Verständnisses beim Lernenden ist, sich der reinen eignen Sprache bei den Namengebungen zu bedienen, weil deren Laute ungleich kräftiger im Bewusstsein anklingen, als die der fremden, bin ich doch der Meinung, dass in Fällen, wie der vorliegende, nachgegeben, um einen Pflock zurückgesteckt werden muss. Unsre Muttersprache hat eine grosse Stärke, Wortverbindungen aller Art, ähnlich wie im Griechischen, ausführen zu können und zu dürfen. So: Radlinie aus „Rad" und „Linie", Rollkreis aus „rollen" und „Kreis". Solches vermögen der Engländer, der Franzose, der Italiäner nicht. Indessen jener Stärke steht, wie ihr Schatten, auch die Schwäche gegenüber, dass wir nur schwer die geschaffenen Koppelwörter weiter ausbilden, zu Eigenschaftswörtern abwandeln können. Wir können nicht mit Fug: radlinisch, rollkreisisch, oder radlinig, rollkreisig, noch weniger rollkreislich sagen. Denn „Radlinie" und „Rollkreis" sollen jedesmal einen für sich abgeschlossenen Begriff bezeichnen, d. h. es soll sich das isch, ig, lich (Herkunft, Besitz, Aehnlichkeit angebend) auf das ganze Wort beziehen. Aber diese Nachsilben leiten vermöge ihrer Anschmiegung an das unmittelbar Vorausgehende unser Denken nur zu leicht dahin, dass nur ein Theil des Wortes, der letzte, durch das Anhängsel gemodelt werden solle. Daher macht denn das Wort den Eindruck, als bestünde es aus „rad" und „linisch", aus „roll" und „kreisisch" und kann dann den gemeinten Sinn kaum treffen. Ganz anders steht es, wenn das, für uns Heutige zu einem festen Ganzen zusammengeschmolzene „*cyclois*", Genitiv „*cycloidis*" abzuwandeln ist. Dieses Wort haben wir in Deutschland, von der Genitivform ausgehend, regelmässig weitergebildet und haben

Mit „Trochoide" lässt sich also der allgemeine Fall vollständig decken. Danach aber stehen die beiden Formen „Stabbahn" und „Reifbahn" als zusammengehörig und gut verständlich einander gegenüber. Denn man kann in jedem Beispiel, wo Kurve und Gerade gegenseitige Rollbewegung haben, sowohl von den Bahnen des „Stabes" gegen den „Reif" — der Geraden gegen die Kurve, auf welcher sie rollt — als des „Reifs" gegen den „Stab" — der Kurve bei ihrer Rollung auf der Geraden — sprechen und diese, stets zugleich vorkommenden Rollbewegungen untersuchen. Ist der Reif oder die Reiflinie ein Kreis, so ist die Stabbahn die Kreisevolvente oder Cykloorthoide, die Reifbahn dagegen die Orthocykloide, die wir jetzt auch Stabradlinie nennen lernen. Unsre oben in den Figuren 19 bis 21 betrachteten Cykloidenschaaren waren ganze Geschlechter von Stabbahnen, jede Kurve die Stabbahn der vorigen. Auch zu Reifbahnbildungen kann man bei jeder beliebigen Kurve greifen. Als Beispiel diene die Kreisevolvente oder Cykloorthoide. Wird sie als Reif gerollt, Fig. 46, so erhält man als merkwürdigste Reifbahn diejenige des

Fig. 46 Fig. 47



Mittelpunktes M_1 des ehemaligen Grundkreises. Man hat, wenn der Stabrand zur Ordinatenachse gewählt wird: $x = M_0 P - R_1$, wobei $M_0 P_0 = R_1$, $P_0 P = x = \frac{1}{2} R_1 \omega_1^2$, und $y = OP = R_1 \omega_1$,

uns recht brauchbare Wörter dadurch hergestellt. Im vorliegenden Falle sind wir nach meiner Meinung auf das Fremdwort hin-, manchmal geradezu angewiesen. Wir fesseln aber wenigstens die Wörter hier so weit an unsre Sprache, dass wir unsre eignen Hülfssilben gebrauchen, also weder mit den Franzosen „cykloidal", noch mit den Engländern „cykloidikal" sagen. Die englische Form *cyclóidical* ist im Grunde etwas schwerfällig, sagt nämlich eigentlich „cykloidischlich".

somit $y^2 = R_1^2\omega_1^2 = 2R_1x$, d. h. die Reifbahn des Punktes M_1 ist eine Parabel vom Halbparameter R_1. Ein anderes Beispiel liefert die logarithmische Spirale. Dient diese als Reif, so ist ihre Mittelsbahn eine Gerade, die unter dem Winkel $90^0 - \alpha$ die Abszissenachse schneidet, Fig. 47. Die Orthocykloide mit ihrer geradlinigen Mittelsbahn erscheint hier als besonderer Fall der logarithmischen Spirale, derjenigen, bei welcher der Winkel α zwischen Tangente und Fahrstrahl ein rechter ist.

Ueberblickt man die ganze Reihe der Stabbahnen zu einer und derselben Reiflinie, so erkennt man sofort, dass alle einzelnen Reifbahnen gleichsam gleiches Recht auf Aufsuchung ihrer Krümmungshalbmesser haben. Bei den Randbahnen eines und desselben Stabes ersieht man aber auch alsbald, dass dieselben gegenseitig Parallelen oder Aequidistanten sind, ihre Krümmungshalbmesser also durch einfache Zuzählung oder Abziehung eines Werthes aus einem ermittelten Krümmungsstrahl erhalten werden können. Hieraus ergibt sich, wenn man umgekehrt folgert, der Satz:

IX. Alle Aequidistanten oder Zeilzüge*) einer Kurve sind Rand-Stabbahnen zu der Reiflinie derselben.

Wird der beschreibende Punkt eines Stabes ausserhalb des Stabrandes — d. i. ausserhalb der rollenden Geraden — gewählt, so erhält man im Anschluss an die oben besprochenen Benennungsweisen verlängerte oder verkürzte Stabbahnen; die einer solchen jedesmal zugehörige Randbahn oder gemeine Stabbahn ist die Kurve, welche der Fusspunkt der Senkrechten, die vom beschreibenden Punkte auf die rollende Gerade gefällt wird, durchläuft. Nicht übersehen darf man, dass zu den verlängerten oder verkürzten Stabbahnen stets auch wieder besondere Reiflinien aufgesucht, sie also als Rand-Stabbahnen dargestellt werden können; man gelangt hierbei auf mancherlei beachtenswerthe Aufgaben.

Die Benennung Stabbahn wird man nicht pedantisch überall durchzusetzen brauchen. Namentlich da nicht, wo ältere und — wie vorhin gezeigt wurde — unentbehrliche Fremdnamen in einer Beispielsreihe im Gebrauche sind. Ich habe deshalb oben schon für Stabbahn den Ausdruck Orthoide (von ὄρθος, ὄρθη γραμμή)

*) Dr. Gross hat s. Z. darauf hingewiesen, dass in unsrem Worte Zeile der Begriff des Parallelismus stecke und es sich deshalb vielfach zu geometrischen Bezeichnungen eigne. Rud. Wolf ist in seinem „Taschenbuch der Mathematik“ darauf schon 1858 eingegangen; für Aequidistante scheint mir „Zeilzug“ empfehlenswerth und eines Versuches würdig zu sein.



gebraucht, um in der Namenreihe der Cykloiden zu bleiben. Damit schloss sich nämlich der Ring der fremdnamigen und sonst so vortheilhaften Bezeichnungen der Kreisrollungskurven vollständig.

Das „ruhende“, oder, nunmehr allgemeiner gesprochen, das (die Zeichnung) aufnehmende Gebilde ist in den zusammengesetzten Namen als Bestimmungswort stets voranzustellen, das abgebende als das Grundwort nachzusetzen. So ergaben sich die Namen Cykloorthoide für Kreis-Stabbahn und Orthocykloide für die Reifbahn des Kreises. Die älteren Namen für diese Kurve: Cykloide kurzweg, oder gar „allgemeine“ Cykloide, die man so oft gebraucht findet, ganz abgesehen von den alten Namen „Trochoide“ und „Roulette“, sind bei Lichte betrachtet heute geradezu untauglich geworden, da sie keineswegs klar angeben, was bezeichnet werden soll.

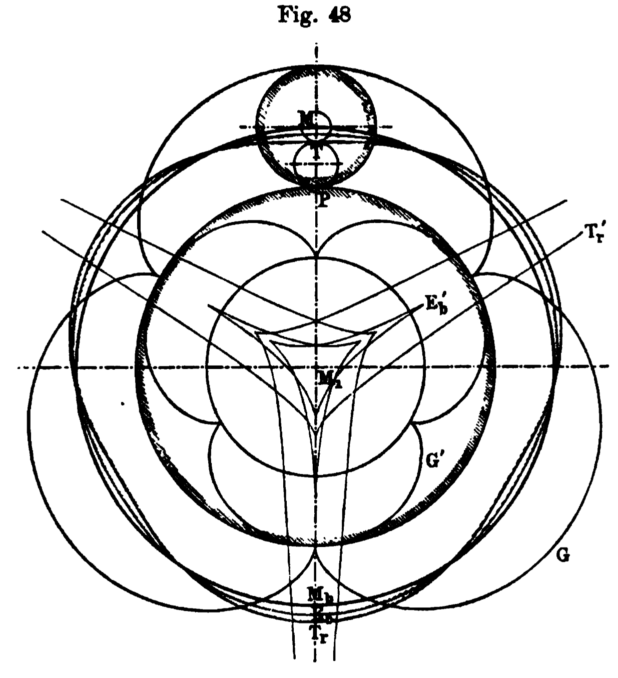
§. 16

Reiflinien der ungemeinen Cykloiden

Die ungemeinen Cykloiden können nicht so einfache Reiflinien haben, wie die Randbahnen, da an vielen derselben Wendepunkte, also unendlich entfernte Krümmungsmittelpunkte vorkommen, auch die Einbugkurven gewisse Schwierigkeiten bereiten. Eine kleine Beispielsreihe für die Reiflinien ungemeiner Epicykloiden bietet Fig. 48. Dieselbe zeigt die gemeine (Drittels-) Epicykloide G, sodann die tropische, nämlich vom Wendescheitel T beschriebene Kurve T_r und eine Einbugkurve E_b, sowie die kreisförmige Mittelsbahn M_b. Zur Randbahn G gehört die Reiflinie G', wieder eine gemeine Aufradlinie, die wir aus §. 3 kennen. Zur tropischen Aufradlinie T_r gehört die Reiflinie T_r', nach den oben gegebenen Verfahrungsweisen gezeichnet; sie erhält unendlich ferne Stellen als Krümmungsmittelpunkte zu den Kurvenpunkten beim Wendescheitel T. Zur Einbugkurve E_b, beschrieben von einem innerhalb der Einbugfläche gelegenen Punkte des Rollkreises, gehört als Reiflinie die verschlungene sechsspitzige Kurve E_b'. Deutlich zeigt sich, wie die Krümmungsmittelpunkte in der Nähe des Mittelpunktes M_1 des ruhenden Kreises verbleiben; den drei grössten und drei kleinsten Werthen des Krümmungshalbmessers entsprechen die sechs Spitzen der Reiflinie.

In der S. 50 erwähnten Tafel am Ende des Buches, die in grossem Maſsstabe zu geben war, um alle Verhältnisse deutlich

Fig. 48

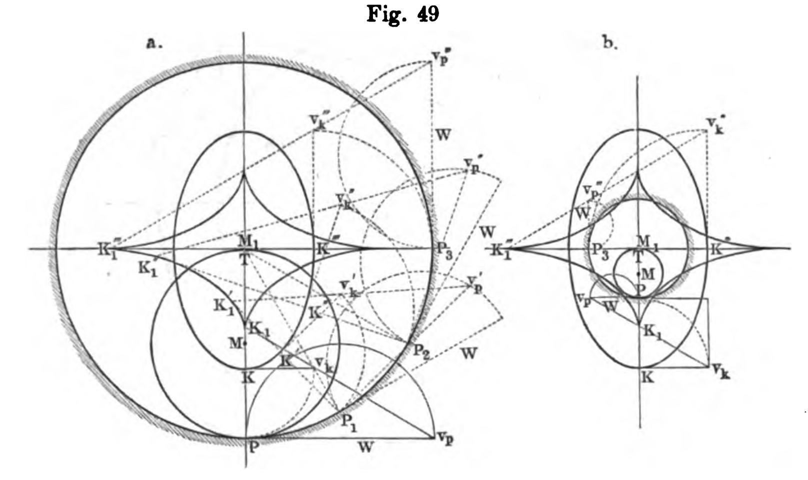


zu machen, wurde die Reiflinie einer Einbugkurve der 12tels Epicykloide schon gegeben; diese Reiflinie durchläuft in ihrem sternförmigen Zuge vierundzwanzig Spitzen, welche die Orte der Krümmungsmittelpunkte zu den, immer einbugig verlaufenden Krümmungen der dargestellten verkürzten Epicykloide sind.

Als drittes Beispiel sei noch die Reiflinien-Verzeichnung zur Ellipse vorgeführt. Fig. 49 (a. f. S.) zeigt zwei Lösungen dieser Aufgabe für eine und dieselbe Ellipse, die bei a als innere Ellipse, bei b als äussere (vergl. S. 20) behandelt ist. Um zunächst die Darstellung a zu besprechen, haben wir uns zu erinnern, dass bei der mittleren oder 2tels Hypocykloide der Wendekreis mit dem rollenden Kreise zusammenfällt, so dass $W = 2R$. Beim Punkte K beginnend, tragen wir die $Pv_p = W$ senkrecht zur $M_1 P$ und zu ihr parallel die $Kv_k = KP$, ziehen den Verbindungsstrahl durch die Endpunkte dieser Lothe und finden in dessen Schnitt K_1 mit der $M_1 P$ den Krümmungsmittelpunkt zu dem Kurvenelement in K. Für das Kurvenelement im Punkte K' (welchen

Punkt und seine Nachfolger wir vorher aufgetragen annehmen) ist P_1 der Pol, in welchem der rollende Kreis den ruhenden berührt, wenn der beschreibende Punkt nach K' gelangt. Wir ziehen den Strahl $M_1 P_1$, errichten darauf die Senkrechte von der Länge W und beschreiben darüber den (halben) Fahrtenkreis, errichten dann auf der Normalen $K' P_1$ die Senkrechten $P_1 v_p' = W \sin\alpha$ und $K' v_k' = K' P_1$, verbinden die Endpunkte und

Fig. 49



ziehen die Verbindungslinie durch bis zum Schnitt K_1' mit der Normalen $P_1 K' \ldots$, womit wir einen zweiten Punkt der Reiflinie in K_1' erhalten. Ganz so ist die Verzeichnung fortgesetzt für die Kurvenelemente der Punkte K'' und K''', denen die Pole P_2 und P_3 entsprechen. Bei P_3 wird α wieder Null. Der so aufgefundene Kurvenast $K_1 K_1' K_1'' K_1'''$ wird zweifach symmetrisch wiederholt.

Unter b ist dieselbe Ellipse als äussere behandelt. Wie wir aus Früherem, S. 20, wissen, erhalten wir die zugehörigen Kardankreise, indem wir den nach aussen gerichteten Polabstand KP nun vom Kurvenpunkte K nach innen hin auftragen. Wie sich unter a ein Abstand $M_1 P$ der Durchmesser des kleinen Kardankreises ergab, so auch hier. Um die Ellipse im selben Verlaufe zu erzeugen, wie bei a geschah, wo wir nach rechts rollten, müssen wir hier nach links rollen. Wir tragen nach links zur $M_1 K$ senkrecht die $P v_p = W$, aus K die $K v_k = PK$ auf, verbinden die Endpunkte und erhalten im Schnitt K_1 der Verbindungslinie mit der Normalen $M_1 K$ den ersten Krümmungs-

mittelpunkt K_1. In derselben Weise fortfahrend erhalten wir auch die übrigen Punkte der Reiflinie, die nothwendig gleich der bei a gefundenen ausfällt. Vorzuziehen für die Anwendung ist die Verzeichnungsweise bei a, da sie mit weit grösseren Abmessungen zu arbeiten erlaubt. Die Ersetzbarkeit der einen Art der Cykloidenziehung durch eine andere tritt hier als besonders werthvoll ins Licht.

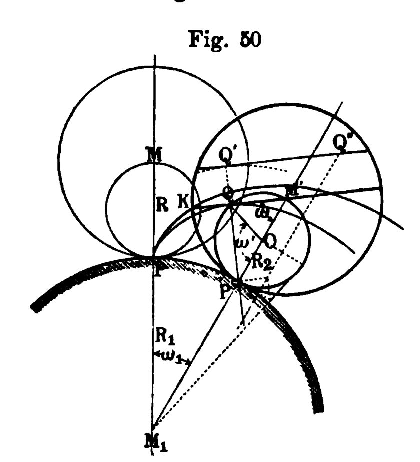
§. 17

Hüllbahnen der Rollkreisradien

Unter den Kurven, welche von Linien umhüllt werden, die mit dem rollenden Kreise fest verbunden sind, ist die von den Radien des Rollkreises eingehüllte besonders beachtenswerth, weshalb wir auf sie eingehen müssen.

Wenn der anfänglich in PM, Fig. 50, stehende Rollkreis über den Bogen PP' des Grundkreises gerollt ist, so hat sein Radius PM die Lage $M'K$ angenommen. Fällt man nun aus dem Pole P' das Loth $P'Q$ auf $M'K$, so liegt Punkt Q in einem Kreise über dem Durchmesser $P'M' = R/2$ und es ist dessen Zentriwinkel $QOP' = \omega' =$ zweimal dem Rollungswinkel $KM'P = \omega$, Bogen $P'Q$ also $= \widehat{PK} = \widehat{PP'}$. Der kleine Kreis rollt demnach gleichzeitig mit dem Rollkreise auf dem Grundkreise. Dabei beschreibt sein anfänglich in P gewesener Punkt Q eine (gemeine) Cykloide, deren Normale mit QP' zusammenfällt. Diese Normale wird aber von dem Radius $M'K$ im Kurvenpunkte Q rechtwinklig geschnitten, die Kurve PQ also in Q durch $M'K$ berührt, d. h. von der wandernden Geraden eingehüllt. Da keine bestimmte Cykloidengattung von uns vorgesehen war, gilt die Betrachtung für alle Cykloidengattungen und führt zu folgendem Satze:

Fig. 50



X. Die Radien des Rollkreises hüllen eine gemeine Cykloide ein, deren Rollkreis halb so gross ist wie der Haupt-Rollkreis und mit diesem auf dem Grundkreise rollt.

Beispielsweise umhüllen die Rollkreisradien einer 4tels-Aufradlinie eine gemeine 8tels-Aufradlinie, die einer $^{12}/_5$tels-Umradlinie, siehe Fig. 51, eine gemeine $^6/_5$tels-Umradlinie (welche, wie

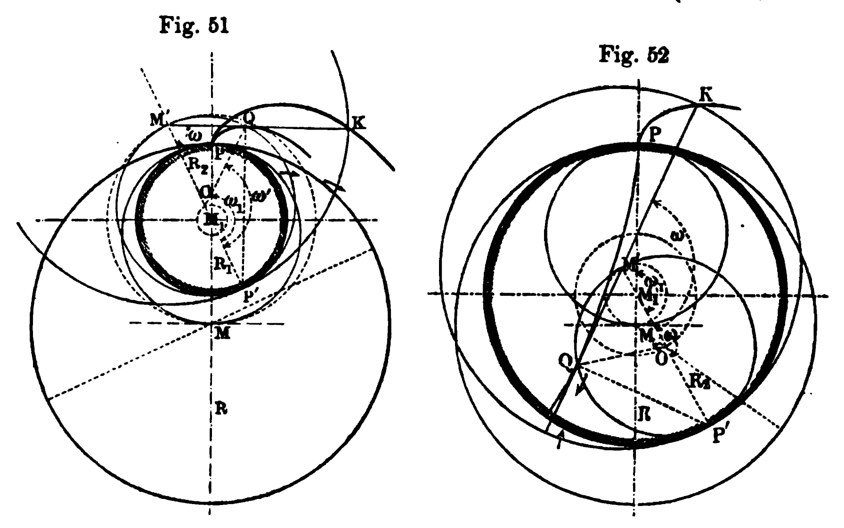


Fig. 51 Fig. 52

wir wissen, in der Form gleich ist einer gemeinen 5tels-Aufradlinie, vergl. S. 13). Bei der kleinen Umradlinie — hier in Fig. 52 ist $R : R_1 = 6 : 5$ — fällt der Rollkreis der umhüllten Kurve kleiner aus, als der Grundkreis, weshalb die von den Radien des Hauptrollkreises umhüllte Cykloide eine Inradlinie wird. Je mehr sich der halbhohe Rollkreis in seiner Grösse dem Grundkreise nähert, um so mehr schrumpfen die umhüllten Inradlinien zusammen, um zuletzt, wenn $R_2 = R_P$ wird, sich in einen Punkt zusammenzuziehen, den Anfangspunkt der Perikardioide. Man erkennt hier, wie zweckmässig es war, die Unterscheidung der grossen, kleinen und mittleren Umradlinie oder Pericykloide einzuführen.

Bei der Orthocykloide ist die Radienhüllbahn eine Orthocykloide von der halben Grösse der gegebenen. Bei der Kreisevolvente ist der Radius des Rollkreises eine Senkrechte zur rollenden Geraden; die von dieser Senkrechten umhüllte Evolvente ist aber ebenso gross wie die Randbahn selbst, da ein halbmal unendlich auch unendlich ist.

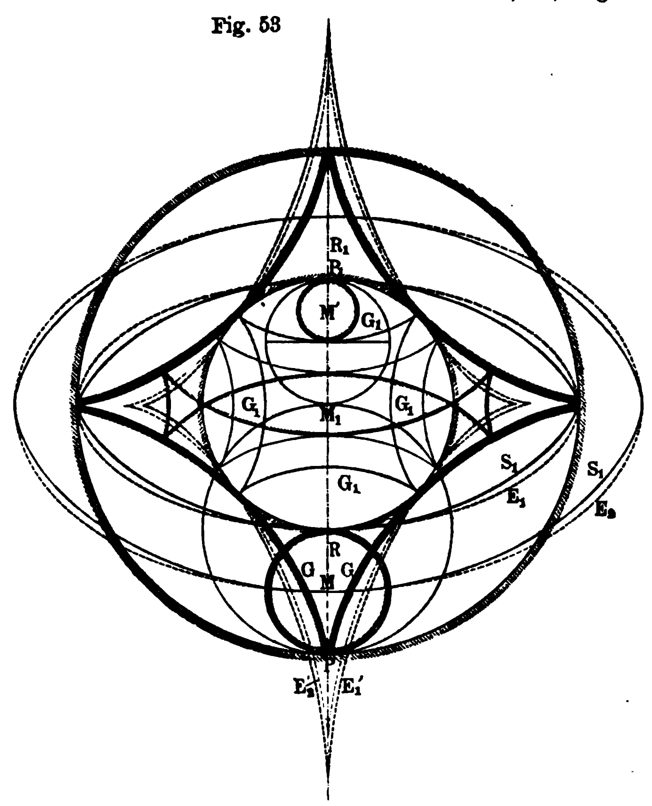
An den vorigen Satz schliesst sich alsbald der folgende an:

XI. Sehnen und Sekanten des Rollkreises umhüllen Aequidistanten oder Zeilzüge der halbhohen Cykloiden,

(vergl. $Q'Q''$ in Fig. 50); denn sie stehen von den umhüllenden Durchmessern um ein bestimmtes Maſs ab und werden durch Normalen zu diesen Durchmessern rechtwinklig getroffen.

Eine höchst bemerkenswerthe Radienhüllbahn ist die der mittleren Hypocykloide. Die umhüllte Kurve ist hier, gemäſs dem Gefundenen, eine 4tels-Inradlinie, die in vier gleichen Aesten an der Innenseite des Grundkreises dahinläuft, G, Fig. 53. Sie

Fig. 53



wird umhüllt von den Durchmessern des kleinen Kardankreises, deren Endpunkte den Schenkeln eines Rechtwinkels nachgehen, und deren Punkte selbst, wie wir wissen, ausnahmslos Ellipsen beschreiben. Dies scheint zu der Annahme geführt zu haben, dass die vorliegende Kurve die Evolute oder Reiflinie der Ellipse sei*). Das ist aber nicht der Fall. Ihre Gleichung

*) So bei Littrow, Anl. z. höh. Math. auch bei Hug, Mathematik u. A.; richtig aber ist die Kurve behandelt bei Longchamps, Problèmes, Paris 1865, S. 388.

erhalten wir aus (4), wenn wir darin $R = {}^1/_4 R_1$ setzen. Dies gibt bei $a =$ Null:

$$x = {}^3/_4 R_1 \sin \omega_1 - \frac{R_1}{4} \sin\left(\frac{R_1}{R} - 1\right)\omega_1$$

oder:

$$x = \frac{R_1}{4}(3 \sin \omega_1 - \sin 3\omega_1) = R_1 \sin \omega_1^3,$$

da $\sin 3\omega_1 = 3 \sin \omega_1 - 4 \sin \omega_1^3$ ist. Aehnlich ergibt sich:

$$y = -\frac{R_1}{4}(3 \cos \omega_1 + \cos 3\omega_1) = -R_1 \cos \omega_1^3,$$

indem $\cos 3\omega_1 = 4 \cos \omega_1^3 - 3 \cos \omega_1$. Nun erhält man alsbald:

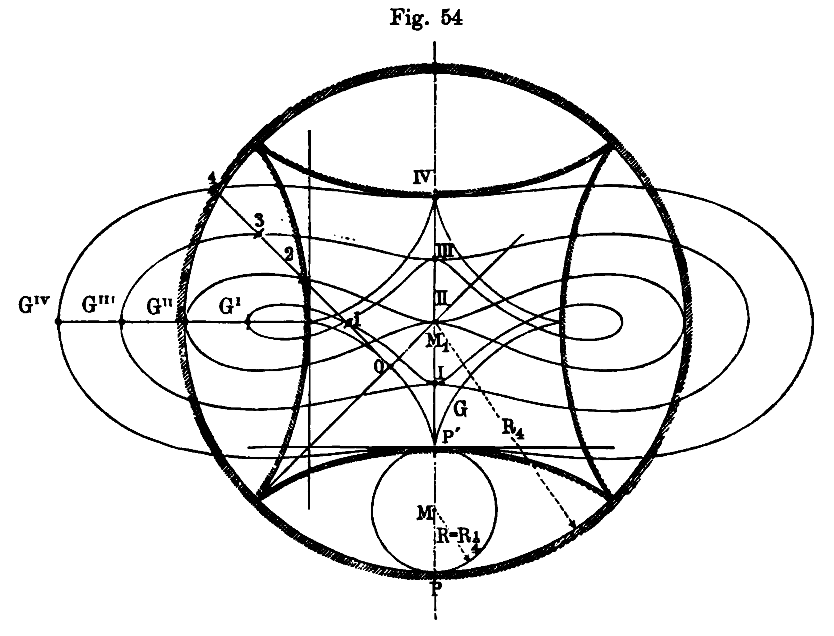
$$x^{2/3} + y^{2/3} = R_1^{2/3} \quad \ldots \ldots \quad (21)$$

Man hat, offenbar wegen der Aehnlichkeit dieser Gleichung mit derjenigen der Ellipsen-Reiflinie:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^{2/3} + \left(\frac{y}{b}\right)^{2/3} = \left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)^{2/3},$$

bei dem angedeuteten Irrthum die Hüllbahn mit einer Reiflinie verwechselt. Die Stabbahn G_1 zum mittleren Punkte eines Astes

Fig. 54



ist gemäfs Früherem (S. 24) wiederum eine 4tels-Inradlinie, die Stabbahn S_1 zum Endpunkte eine Aequidistante der letzteren. Sie hat eine ovale Form und sieht einer Ellipse sehr ähnlich,

wie weit sie von ihr verschieden ist, zeigt die hinzupunktirte Ellipse E_1 für dieselben Halbachsen, sowie deren Reiflinie E_1', die sehr stark von der Kurve G abweicht. Letztere theilt mit den übrigen gemeinen Cykloiden den Vorzug, eine in rationalem Verhältniss zu R und R_1 stehende Länge zu haben; diese ist hier für jeden Ast $= 8\,R\,(R_1 - R) : R_1 = 1^1/_2\,R_1$. Demnach hat die kleine Achse des Ovals die Länge R_1, die grosse $2\,R_1$. Noch drei andere Aequidistanten oder Zeilzüge zu G_1 sind eingetragen, davon die äusserste S_2 über S_1 um $^1/_4\,R_1$ hinausliegend; auch hier ist wieder die gleichachsige Ellipse E_2 nebst ihrer Reiflinie E_2' des Vergleiches wegen mit eingetragen.

Sehr formenreich sind die verlängerten und verkürzten Stabbahnen der 4tels-Hypocykloide. Einige derselben sind in Fig. 54 zusammengestellt. Es sind die verlängerten und zugleich die verkürzten Stabbahnen zu dem Mittelpunkte P' der 4tels-Hypocykloide; die beschreibenden Punkte, auf der Senkrechten zum Stabe, die in P' errichtet ist, bei I, II, III, IV liegend, beschreiben die Kurven G^{I}, G^{II}, G^{III}, G^{IV}. — Die vorliegende 4-tels-Inradlinie findet man öfter Asteroide, auch Astroide genannt; wir sehen, dass sie gar nicht besonders benannt zu werden braucht.

§. 18

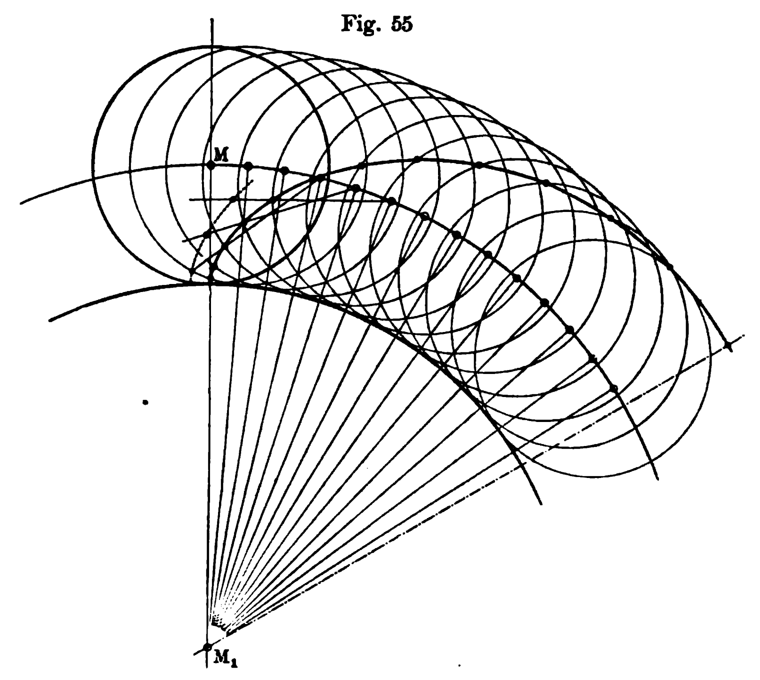
Verfahren zum Verzeichnen der Cykloiden

Das Verzeichnen der Cykloiden wird an allen technischen Lehranstalten im mechanischen Fach geübt. Man kann drei Richtungen der Lehraufgabe hier unterscheiden: 1) diejenige, bei der das Lehren des Zeichnens selbst im Vordergrunde steht, während der theoretische Inhalt der Kurven zurücktritt; 2) diejenige, welche die Zeichenkunst bereits als erworben ansieht und auf Verwendung der Kurven für das Fach, demnach auf besonders genaue Darstellung und eingehendes Verständniss der zahlreichen Formabwandlungen, als Krümmung, Tangentenziehung, Annäherung durch Kreisbogen u. s. f. Nachdruck legt; 3) diejenige, welche im Unterricht, beim Vortrage vor der Tafel, also nicht sowohl durch den Lernenden, als den Lehrenden verfolgt wird. Diese drei Richtungen finden ihren besten Ausdruck in ganz verschiedenen Verfahrungsweisen.

I.

Für den reinen Zeichenunterricht, bei dem gleichsam der Lernende selbst noch ein unbeschriebenes Blatt ist, ist die alte Darstellungsform, von der Fig. 55 ein Beispiel für die Epicykloide

Fig. 55



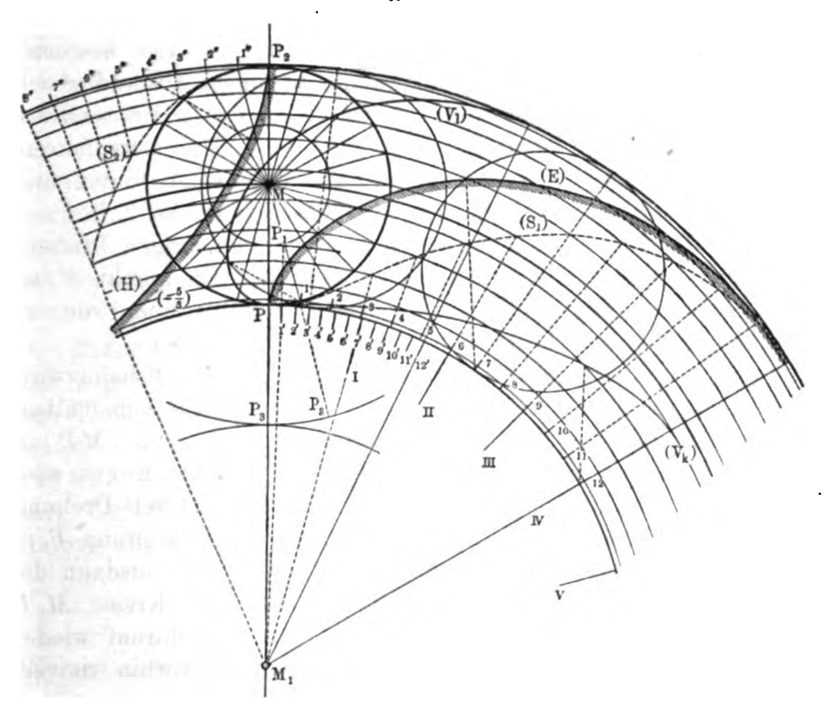
vorführt, recht gut. In genau gleichen Abständen liegen auf der Mittelsbahn die Mittelpunkte von Kreisen, beschrieben mit dem Rollkreishalbmesser, auf welchen vom Berührungspunkte am Grundkreise aus 1, 2, 3 . . . Sehnen der Rollkreisbögen, die den durchlaufenen Grundkreisbögen möglichst gleich gemacht sind, abgetragen werden, um die Cykloidenpunkte zu bestimmen. Auch „verlängerte“ und „verkürzte“ Kurven werden durch Radienziehung u. s. f. bei diesem Verfahren häufig ermittelt. Das ganze Verfahren ist recht gut für den Unterricht, bringt den Schüler dazu, genau zu theilen, genau und fein die Kreise aufzutragen, die Zeichengeräthe sorgfältig gebrauchen zu lernen, während ihn gleichzeitig das mathematische Ergebniss, die Kurve, geistig anregt.

Eine zweite, ebenfalls für den Zeichenunterricht sehr empfehlenswerthe Weise ist

das Verfahren des Verfassers.

Der Rollkreis MP, Fig. 56, wird in seiner Anfangsstellung recht genau in eine gerade Anzahl Theile, hier 24, oder 12 auf die Hälfte, von P aus getheilt. Durch seine Theilpunkte werden Kreise aus dem Mittelpunkte M_1 des Grundkreises geschlagen; sie mögen Breitenkreise heissen. Alsdann werden auf dem Grundkreise von P aus Bogenlängen gleich denen des Rollkreises abgestochen. Wird dann durch einen der Theilpunkte, z. B. den 7ten, ein Radius bis zur

Fig. 56



Mittelsbahn geführt und aus dem Treffpunkte ein Kreis mit dem Rollkreishalbmesser gezogen, so stellt derselbe den Rollkreis in der Lage vor, die er nach Rollung um 7 Theilungen einnehmen würde. Der anfänglich in P gelegene beschreibende Punkt befindet sich nach dieser Rollung im Schnitte des 7ten Breitenkreises mit dem soeben gezogen gedachten Kreise, den wir einen Höhenkreis nennen können. Diesen Kurvenpunkt konnten wir aber auch ohne Verzeichnung des Höhenkreises dadurch finden, dass wir mit der Sehne zu sieben Theilungen aus dem Theil-

punkte 7 in den 7ten Breitenkreis einschnitten. Dieses Verfahren liefert eine Punktfolge, die im Zuge der gemeinen Epicykloide liegt; sie ist in der Figur mit (E) bezeichnet. Wir erhalten so mit recht einfachen Mitteln die gemeine Form der Epicykloide. Aber auch die ungemeinen lassen sich auf dem Wege erzielen. Soll z. B. eine zu demselben Mittelsabstand $M_1 M$ gehörige, um den Rollkreishalbmesser verlängerte Cykloide gezeichnet werden, die der Punkt P des gegebenen Kreises beschreibt, so ist letzterer $= MP_1 = {}^1/_2 P_1 P$. Bei einer 24stels-Rechtsdrehung gelangt der erste Theilpunkt des beschreibenden Kreises nach 1′. Der beschreibende Punkt P befindet sich aber dann in einem Abstand gleich der Sehne eines 24stels von 1′ entfernt im ersten Breitenkreis, also in einem der gesuchten Kurvenpunkte. Um fortzufahren, tragen wir nach 2′, 3′, 4′ ... die Theilung $P \,.\, 1'$ weiter und finden von diesen Punkten aus mit den Sehnen zu 2, 3, 4 ... 24steln des beschreibenden Kreises in dem zugehörigen Breitenkreise die weiteren Kurvenpunkte. Für den Theilpunkt 3′ ist die Sehnenziehung eingetragen. Nach Durchlaufung von 12 Theilungen ist die Hälfte der Kurve (V_l) beschrieben.

Eine verkürzte Epicykloide zur gegebenen Mittelsbahn wird wie folgt erhalten. Die Verkürzung sei eine solche vom halben Rollkreishalbmesser; dann ist letzterer $= MP_3 = 2 \,.\, MP$ zu machen; das ist hier auch $= M_1 P_3$, die gesuchte Kurve wird also eine (verkürzte) Epikardioide (S. 17). Eine 24stels-Drehung des beschreibenden Kreises lässt dann die Fortschreitung $P_3 p_3$ auf dem Grundkreise $M_1 P_3$ geschehen, womit sich alsdann die Theilung $P \,.\, I = I \,.\, II = II \,.\, III \ldots$ auf dem Kreise $M_1 P$ ergibt. Von diesen Theilpunkten aus hat man darauf wieder mit den Sehnen des beschreibenden Kreises wie vorhin zu verfahren, um die Kurve (V_k) zu erhalten; beim Theilpunkt IV ist die Sehne zu vier 24steln und deren Einschnitt in den vierten Breitenkreis eingetragen.

Auch die Hypocykloide zur gegebenen Mittelsbahn und dem benutzten beschreibenden Kreise können wir so aufsuchen (siehe unten), tragen aber am einfachsten hierfür die Theilung auf dem äusseren Berührungskreise $M_1 P_2$ auf, wie oben links geschehen ist. Die Sehneneinschnitte in die Breitenkreise liefern wieder die Kurvenpunkte, wie beim vierten Theilpunkt gezeigt ist.

In einer und derselben Zeichnung, von nur einem einzigen beschreibenden Kreise ausgehend, erhalten wir mittelst des

hier angegebenen Verfahrens, wie wir gesehen haben, Cykloiden von allen jenen drei Gattungen, welche endlichen Roll- und Grundkreisen entsprechen*). Der beschreibende Kreis, oder, wie ich ihn der Kürze halber nun nennen will, der „Schreibkreis", bestimmt dabei die Höhenausdehnung der erzielten Kurve und liefert die ganze Schaar der mit ihm bei gegebener Mittelsbahn möglichen Epi-, Hypo- und Pericykloiden oder: — — „Epicykel". Denn unser Verfahren gibt genau das wieder, was die ältere Astronomie unter diesem Ausdruck verstand; eingeschoben habe ich nur den Ausgang von der Rollung des Schreibkreises bei der ersten Ermittlung. Ich werde weiter unten auf die Sache noch einmal zurückkommen. In Fig. 56 ist noch ein Uebriges geschehen, indem auch noch die beiden „Gefährtinnen" der Epi- und Hypo-Kurve mit aufgenommen sind; sie sind mit (S_1) und (S_2) bezeichnet. Erhalten werden sie sehr einfach durch Einschneiden der Strahlen durch die Theilpunkte in die Breitenkreise. Bisher hat man die Gefährtin bloss bei der Orthocykloide angeführt (vergl. S. 43); sie kann aber auch hier ihre Stelle finden.

Bemerkenswerth ist, dass zwischen den durchlaufenen Bogen des Schreibkreises und den auf dem Grundkreis durchschrittenen Theilungen ein festes Verhältniss besteht (vergl. S. 100). Es heisse m. Ist die Theilung auf dem Schreibkreise t und die auf dem Grundkreise t', so hat man, wenn z. B. die Theilung bei $P_1 = t_0$ ist, $t' : t_0 = R_1 : R'_1$ und $t_0 : t = R' : R$. Daraus folgt:

$$m = \frac{t'}{t} = \frac{R'}{R} \cdot \frac{R_1}{R_1'} = \frac{R'}{R_1'} \cdot \frac{R_1}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Hieraus aber folgt auch, wenn der Mittelsabstand $MM_1 = A$,

$$\frac{A}{R'} = m\frac{R_1}{R} + 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

Welches Verhältniss m wir für eine gewünschte Cykloide

*) Der Zeichner suche vorerst alle erforderlichen Theilungspunkte auf den Kreisen M_1P und M_1P_2 auf und schneide dann mit der sorgfältig gemessenen Sehnenlänge in die Breitenkreise für die ganze Reihe der zu suchenden Kurven ein, damit jedes Ausmessen einer Sehne nur einmal zu geschehen hat. Man zeichnet übrigens nach obigem Verfahren die Figurenreihe in einem kleinen Bruchtheil des sonst erforderlichen Zeitaufwandes.

einzuführen haben, können wir aus diesen Formeln ermitteln. Es ergibt sich aus ihnen:

$$m = \frac{R}{R_1} \frac{R_1'}{R'} = \frac{R}{R_1}\left(\frac{A}{R'} - 1\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

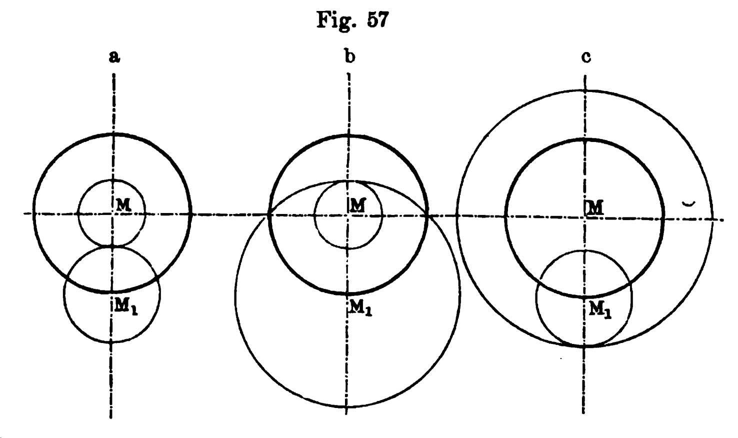
*1. **Beispiel.** Um als Ergebniss unsres anfänglichen Verfahrens die gemeine Hypocykloide zu erhalten, hätten wir in die letzte Formel $R' = -R$ einzuführen, wobei zugleich $R_1' = R_1 + 2R$ wird. Dies gibt aber $m = -(R_1 + 2R) : R_1$, also, wegen $R_1 = 3R$, $m = -{}^5/_3$. In Fig. 56 ist die Kurve mit der Nebenschrift $(-{}^5/_3)$ eingetragen. Geht man, wie geschehen, von der Rollung bei P_2, 1″, 2″, 3″ ... aus, so hat man, wie (24) lehrt, $m = 1$ zu setzen.*

*2. **Beispiel.** Sollen die Punkte des Schreibkreises die tropische Epicykloide beschreiben, so muss nach Formel (10) $R = R' - (R' R_1' : R' + R_1')$ sein. Dies gibt nach einiger Umformung, und da $R' + R_1' = R + R_1$ ist, $R' = \sqrt{R(R + R_1)}$, woraus nach (24):*

$$m = \frac{R}{R_1} \frac{R + R_1 - \sqrt{R(R + R_1)}}{\sqrt{R(R + R_1)}} = \frac{R}{R_1}\left(\sqrt{\frac{R_1}{R} + 1} - 1\right)$$

und bei $R/R_1 = {}^1/_3$ folgt: $m = {}^1/_3$.

Fig. 57



also nach (23) $R' : A = 1 : (1 + 1) = {}^1/_2$, d. h. rollender Kreis und Grundkreis fallen gleich aus, die geforderte Kurve ist die tropische Epikardioide (vergl. Fig. 1b).

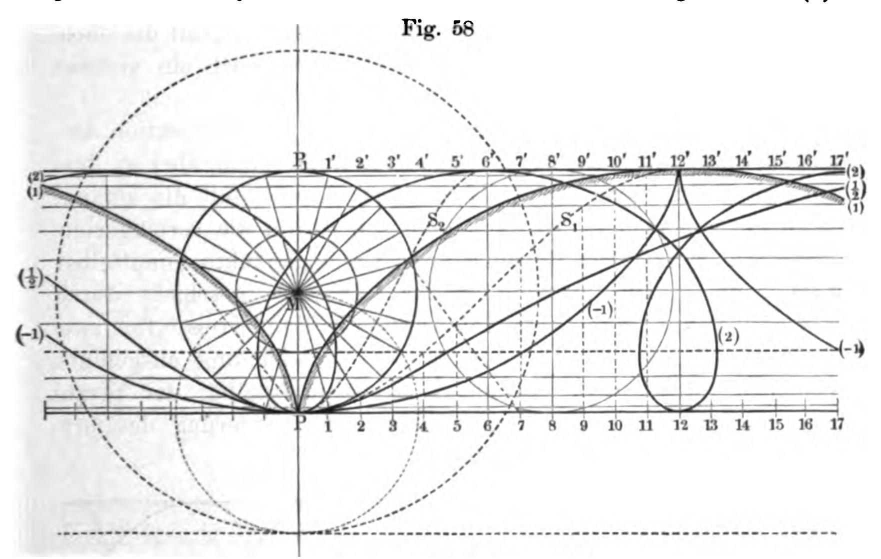
*3. **Beispiel.** Die Bedingungen für m dürfen nicht über die Grenzen der Aufgabe hinausgehen. So ist es unmöglich, die Forderung zu erfüllen, dass die Punkte des Schreibkreises gemeine Pericykloiden beschreiben, wenn nicht M_1 innerhalb des Schreibkreises liegt. Ist dies indessen der Fall, so besagt die Forderung der gemeinen Pericykloide, dass in (24) $R' = R$. $R_1' = R_1$, also dass $m = 1$ sein muss.*

Ein recht lehrreiches Uebungsbeispiel würde die Aufgabe bieten, die Fig. 57 andeutet, nämlich zu gegebenem Schreibkreise, der durch den Mittelpunkt M_1 der Mittelsbahn geht, d. h. der Mittelsbahn an Grösse gleich ist, die homozentrischen oder mittelsläufigen Epicykel, also a) die Epi-, b) die Hypo-, c) die Pericykloide zu bestimmen.

Das Ganze unseres Verfahrens behandelt, wie sich jetzt schon gezeigt hat, die Cykloide als die Bahn eines Punktes in der Ebene, der sich im Kreise um einen andern Punkt dreht, der seinerseits auf einem Kreise fortschreitet und zwar mit einer Schnelle, die der Kreisbewegung des beschreibenden Punktes stets proportional ist.

Wird der Grundkreis unendlich gross, so geht er in die gerade Grundlinie über, die Breitenkreise werden Parallelen zu dieser Grundlinie. Die Schreibkreispunkte beschreiben bei $m = 1$ gemeine Orthocykloiden oder Stab-Radlinien, in Fig. 58 mit (1)

Fig. 58



bezeichnet. Ausserdem folgt aus Gleichung (24) bei Unendlichsetzung von R_1 und R_1' für das Verhältniss m:

$$m = \frac{R}{R'}, \qquad \frac{R'}{R} = \frac{1}{m} \quad \cdots\cdots \quad (25)$$

Das Ganze wird hierbei noch einfacher als oben, weil die Neuaufsuchung der Theilung wegfällt und durch die Vorzeichnung von m ersetzt wird.

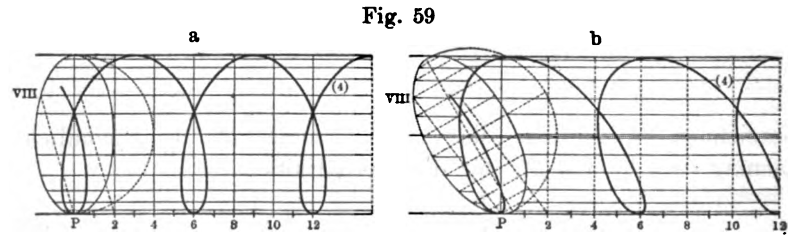
Eingetragen in die Figur sind noch die Kurven für $m = 2$ (verlängerte Kurve), $m = 1/2$ (verkürzte Kurve) und $m = -1$; letztere

Kurve ist die Orthocykloide zur oberen, durch P_1 gehenden Grundlinie, zu welcher überhaupt alle negativen m Orthocykloiden liefern. Die Rollkreise für $m = 2$ und $m = 1/2$ sind eingetragen. Die verkürzte Kurve ($- 1/2$) hat einen Wendepunkt in jedem Aste. Derselbe liegt auf der Höhe der Schnittpunkte des Schreibkreises mit dem, ebenfalls eingetragenen Wendekreise, dessen Durchmesser W nach (10) $= 1/2\, R'$ ist.

Ausser den Cykloiden sind auch noch zwei der sogenannten Gefährtinnen der Cykloiden, die Sinoiden S_1 und S_2, eingetragen. Sie haben zu Abszissen die abgerollten Stücke $P1$, $P2$, $P3 \ldots$ der Grundlinie und zu Ordinaten die Werthe $R \sin m\omega$, wenn die Abszissenlinie in die mittlere Breitenparallele gelegt wird und die Drehwinkel ω von dieser aus gezählt werden. S_1 ist die Sinoide für $m = 1$, S_2 die für $m = 2$ (vergl. §. 12). Das vorstehende Zeichenverfahren liefert auch mit Schnelligkeit die oben, S. 45, erwähnten Schraubenbilder. Doch sei noch ein anderes dafür geeignetes Verfahren hier hinzugefügt.

Lässt man statt des Kreises von Fig. 58 eine Projektion desselben, eine Ellipse, auf der geraden Grundlinie rollen, aber so, dass sie sich fortwährend derart biegt, dass ihre Gestalt die anfängliche Form beibehält, so kann man wie vorhin die verlängerten, gemeinen, verkürzten Rollzüge ihrer Umfangspunkte unmittelbar verzeichnen. Die Eintheilung des Umfanges geschieht durch Projektion aus einem gleichmässig getheilten Kreis; für zwei Anfangsstellungen der Ellipse ist die Verzeichnung ausgeführt, beidemal für $m = 4$. Beidemal ist beispielshalber der Strahl aus dem Rollpunkte 2 eingezeichnet. Die Forderung des fort-

Fig. 59



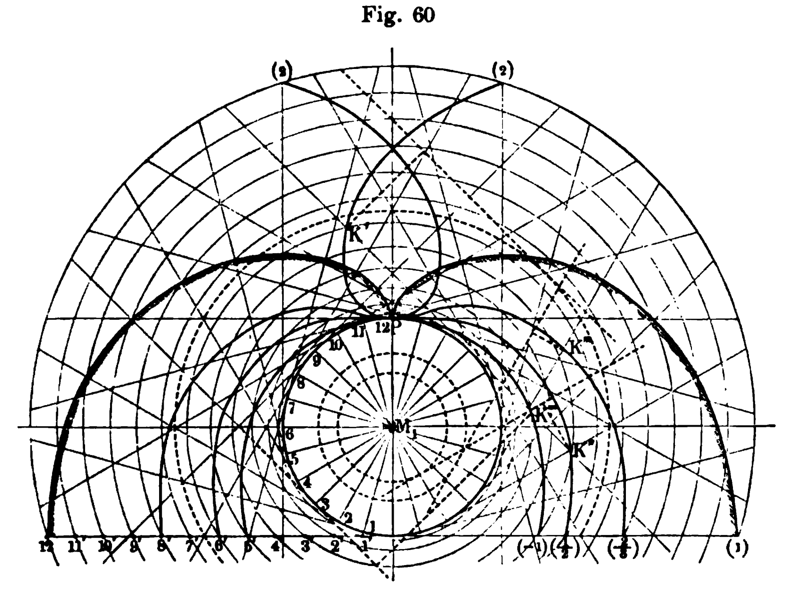
währenden Biegens der Ellipse*) darf nicht auffallen, wenn man das übliche Biegen und Geradestrecken von Linien bei der alten Evolution und Involution erwägt (S. 53). Indessen hat man auch

*) Vergl. Theoretische Kinematik S. 597, wo ich die biegsam rollende Ellipse auf den Fall *a* Fig. 59 anwandte.

zu bedenken, dass die aufeinander folgenden, hier nur gedachten Ellipsen nichts anderes sind, als die Projektionen eines rollenden Kreises. Die Ergebnisse der Ellipsenrollungen in Fig. 59 sind jene schiefen Projektionen von Schraubenlinien, also auch von Orthocykloiden, von denen S. 47 die Rede war, *a* eine einfach schiefe, *b* eine zweifach schiefe Projektion, beide ohne Hülfsfigur, ohne orthographische Verzeichnung der die Schraubenlinie darstellenden ebenen Sinoide aufgetragen und zwar ungemein leicht punktweise aufgefunden. Der auf S. 47 dargestellte Schattenweiser kann als wirksames Hülfsmittel zum Verständniss der ermittelten Kurven dienen.

Wird der Rollkreis bei endlichem Grundkreis unendlich gross, Fig. 60, so erhält man mittelst des Verfahrens Kreisevolventen

Fig. 60



oder Cykloorthoiden. Die Breitenkreise werden aus M_1 durch die Theilpunkte 1′, 2′, 3′ ... des in eine Gerade übergegangenen Rollkreises beschrieben, wobei man die Theilung zweckmässig so wählt, dass sie in den Grundkreisumfang aufgeht. Die Höhenkreise werden Tangenten an den Grundkreis, gezogen durch dessen Theilpunkte. Für das Verhältniss m kommt:

$$m = \frac{R_1}{R_1'}, \qquad \frac{R_1'}{R_1} = \frac{1}{m} \quad \ldots\ldots \quad (25)$$

Beim Verzeichnen tritt die Vereinfachung gegen die früheren Fälle ein, dass die Sehne des Rollkreisbogens zu den m Theilungen mit der Strecke von der letzteren Länge zusammenfällt, man also aus den Theilpunkten des Grundkreises nur mit dieser Zirkelöffnung in die zugehörigen Breitenkreise einzuschneiden hat, um die Kurvenpunkte zu bestimmen. In unsre Figur sind eingetragen die Cykloorthoiden für:

$m = 1$, gemeine Cykloorthoide oder Evolvente,
$m = 2$, verlängerte „ „ „
$m = {}^2/_3$, verkürzte „ „ „
$m = {}^1/_2$, verkürzte, zugleich tropische Evolvente,
$m = -1$, verlängerte Cykloorthoide oder Evolvente.

Im letzteren Falle wird der Grundkreis nach (26) an Grösse gleich dem ersten Grundkreise, wird aber, wie das Minuszeichen anzeigt, an der Gegenseite von der rollenden Geraden berührt, was in der Figur auch angedeutet ist, s. bei K^{IV}.

Im Ganzen ist das vorstehende Verfahren sowohl leicht, als auch besonders lehrreich, vor allem, wo es sich um die Erwerbung allgemeiner Erkenntnisse über die Cykloiden handelt. Das Verfahren lehrt vergleichen, ja nöthigt dazu und regt zu Lösungen von Aufgaben mancherlei Art an. Weniger geeignet ist es in solchen Fällen, wo es sich um sehr genaue Bestimmung kurzer Cykloidenbogen handelt. Zu solchen Fällen wollen wir jetzt übergehen.

II.

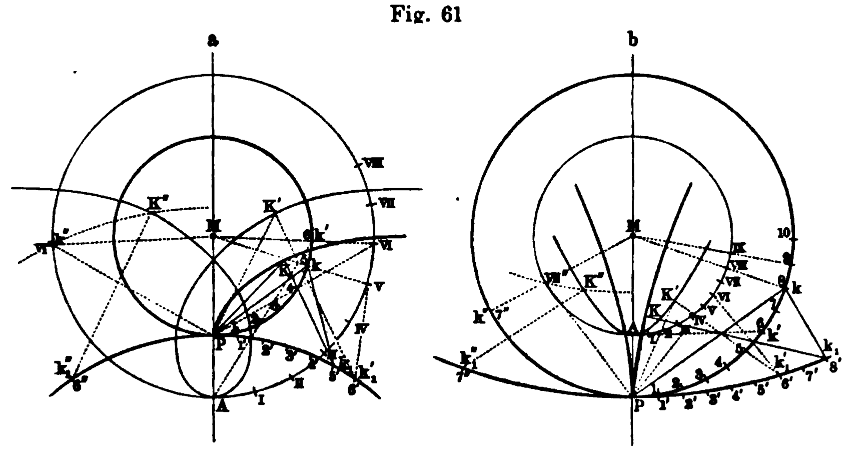
Die folgenden Verfahrungsweisen, deren ich mich seit langer Zeit im Unterrichte (Theorie der Räderverzahnungen und zugehörige Uebungen) bedient habe*), liefern schnell und genau Punkte eines zu verzeichnenden Cykloidenbogens. In Fig. 61 sind für Epi- und Hypocykloide je drei Verzeichnungsarten angegeben, eine für die gemeine Kurve oder Randbahn, zwei für ungemeine Kurven.

A. Randbahnen. Trage vom Anfangspunkte P aus auf Roll- und Grundkreis, so weit als erforderlich, kleine, gleich lange Bogenstücke $P1, 2, 3\ldots$ und $P1', 2', 3'\ldots$ auf, und es seien nun k und k_1 zusammengehörige Theilpunkte bezw. Rollpunkte. Dann

*) Im Jahre 1861 zuerst in meinem Handbuch „der Konstrukteur“ der Hauptsache nach veröffentlicht, hier aber erweitert.

beschreibe aus k_1 einen Kreisbogen mit der Kreissehne Pk und aus P einen solchen mit der Strecke kk_1, die eine Cykloidensehne ist, so schneiden diese Bogen einander in dem Kurvenpunkte K, der der Rollung $\widehat{Pk}$ entspricht. (Die Kreisbogen haben zwei Schnittpunkte; gültig ist der dem Mittelpunkte M

Fig. 61



näher gelegene.) — Für Annäherungen kann man sich unter Umständen mit den besprochenen Bogen aus k_1 begnügen; sie hüllen die gesuchte Kurve ein (sog. Poncelet'sches Verfahren).

B. Aussen- und Innenbahnen, um PA verlängert oder verkürzt.

1) Für die in A auf dem Polstrahle $MP\ldots$ anfangende, verlängerte oder verkürzte Kurve beschreibe, nachdem wie vorhin getheilt worden, mit MA aus M einen Kreis. Dieser besteht aus lauter beschreibenden Punkten, weshalb er, wie vorhin, der Schreibkreis heissen möge. Ziehe durch die Theilpunkte 1, 2, 3 ... Radien bis zu den Schnitten I, II, III ... mit dem Schreibkreise und es seien nun k' und k_1' zusammengehörige Rollpunkte; zu k' gehöre der Theilpunkt VI des Schreibkreises. Dann beschreibe aus k_1' einen Kreisbogen mit dem Fahrstrahl $P\text{VI} = k'A$ und aus P einen solchen mit der Strecke $k_1'\text{VI}$, so schneiden diese Bogen einander in dem Kurvenpunkte K', der der Rollung $\widehat{Pk'}$ entspricht*).

*) Die Linien $P\text{VI}$, Pk' u. s. f. brauchen nicht eingezeichnet zu werden; hier ist das bloss des besseren Verständnisses wegen geschehen; auf der Zeichnung genügen kurze Zirkelschläge.

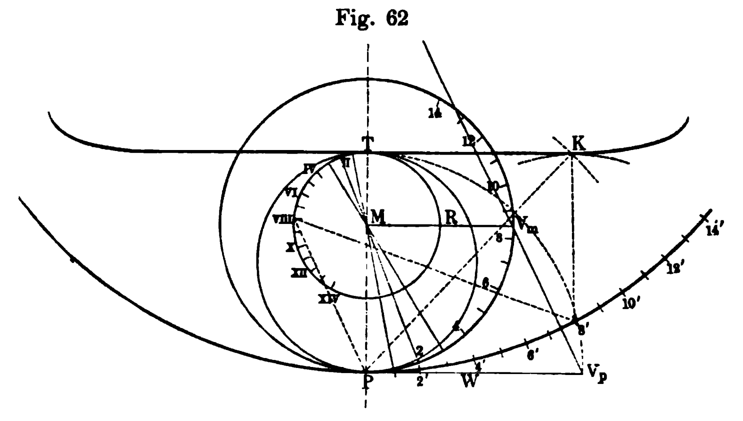
2) Getheilt wie vorhin, auch die Schnitte I, II, III ... mit dem Schreibkreise aufgesucht; zusammengehörige Rollpunkte seien k'' und k_1'', dem Rollpunkte k'' entspreche der Theilpunkt VII''. Dann beschreibe aus dem Mittelpunkte M_1 des Grundkreises einen Kreisbogen durch VII'' und aus k_1'' einen solchen mit dem Abstande PVII'', so schneiden diese Bogen einander in dem Kurvenpunkte K'', dem die Rollung $\widehat{Pk''}$ zukommt.

Bemerkung 1. Da die Punkte $k_1' k_1''$ u. s. f. Pole zu den Kurvenpunkten K', K'' u. s. f. sind, so hüllen die aus ihnen geschlagenen Kreisbogen die gesuchte Kurve ein, wie unter (A), liefern also Annäherungen derselben.

Bemerkung 2. Es ist für die Sauberhaltung der Zeichnung sehr empfehlenswerth, beim Eintheilen nicht in P, sondern ausserhalb, beim ungefähren Endpunkte des erforderlichen Bogens zu beginnen, von dort mit der Zirkelöffnung bis P oder nur nahebei zu wandern und dann, umgekehrt zählend, nach k_1 ... hin zu schreiten. In der Nähe von P fallen Grund- und Rollkreis so nahe zusammen, dass der etwaige kleine Rest als gleichzeitig in beiden liegend angenommen werden kann. In den beiden vorigen Verfahren ändert dieses Verbleiben eines Restes nichts an der Richtigkeit. Die Eintheilung P 1, 2, 3 ... soll kleintheilig sein, der Genauigkeit wegen; man braucht aber deshalb nicht alle Theilpunkte zur Bestimmung von Kurvenpunkten zu benutzen.

Beispiel zum Verfahren B. Zu zeichnen die tropische Drittels-Hypocykloide. Verzeichne die Kreise R und R_1 mit innerer Berührung bei $R = 1/3\, R_1$. Ziehe behufs Auffindung des Wendescheitels T die Mv_m lothrecht zur M_1MP und aus M_1 den Strahl M_1v_p bis zum Schnitte v_p mit

Fig. 62

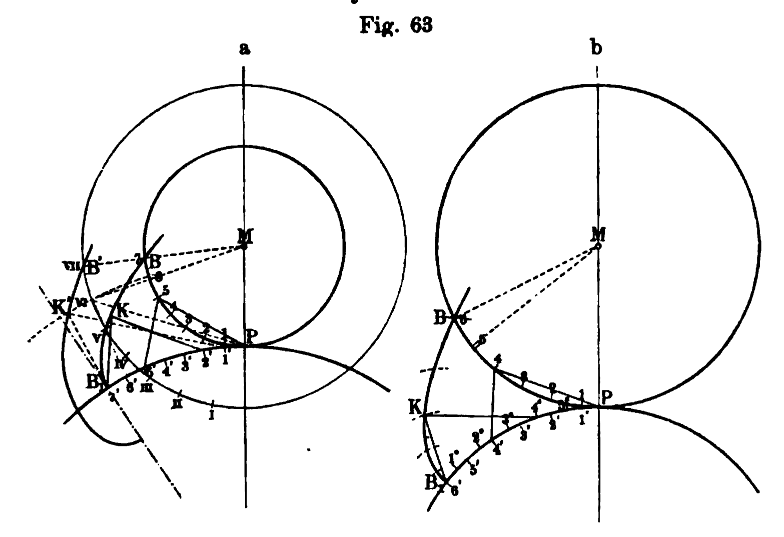


der Tangente, die durch P gelegt ist. Dann ist Pv_p der Durchmesser W des Wendekreises; denselben um P hinaufklappend, erhält man in $PT = W$

den Abstand des Wendescheitels von P. Nun aus M mit MT einen Kreis beschreibend, hat man darin den Schreibkreis vor sich, dessen Punkte sämmtlich tropische Hypocykloiden beschreiben. Es wird nun von P aus eingetheilt wie oben, worauf durch Ziehung der Radien im Schreibkreise durch die Theilpunkte 1, 2, 3 ... die Schnitte I, II, III ... des Schreibkreises erhalten werden. Um nun irgend einen Punkt der von T durchlaufenen tropischen Kurve zu erhalten, z. B. denjenigen, welcher den Rollpunkten 8 und 8' entspricht, schlage aus 8' mit P VIII und aus P mit 8' VIII Kreisbogen, so schneiden diese einander in dem, der Rollung $\widehat{P8}$ *entsprechenden Kurvenpunkte K.*

C. Verzeichnung einer Cykloide von einem gegebenen Kurvenpunkte aus. Wenn vorgeschrieben oder verlangt ist, dass die zu verzeichnende Cykloide durch einen ausserhalb des

Fig. 63



Polstrahles gelegenen Punkt B, Fig. 63, gehen soll, so ist ein etwas abweichendes Verfahren einzuschlagen.

1) Randbahnen. Gegeben auf dem Rollkreise der Kurvenpunkte B. Trage von demselben aus die Theilung B 6, 5, 4 ... bis P, und von da, rückwärts zählend, die Theilung P 1', 2', 3' ... B_1 auf, so ist in B_1 der zu B gehörige Rollpunkt gefunden. Ist nun die Theilung in dem Bogen BP gerade aufgegangen, wie in Fig. a vorausgesetzt ist, so kann man wieder ganz wie unter (A) verfahren, hat nur die Böglein richtig zu zählen. Für die Rollpunkte 5 und 5' z. B. beschreibe aus dem Theilpunkte 2' (= P 7' minus P 5') mit der Kreissehne P 5 einen

Kreisbogen und aus 7′ oder B_1 einen solchen mit der Cykloidensehne 5′5, so ist der Schnittpunkt K der beiden Bogen der gesuchte Kurvenpunkt, der der Rollung P 5 entspricht.

Ist dagegen die Theilung in den Bogen BP nicht aufgegangen, wie in Fig. b gezeigt, und was der gewöhnlichere Fall sein wird, so trage zunächst, von 1′ an rückwärts zählend, die Theilung 1′, 2′, 3′ ... bis B_1 auf dem Grundkreise auf, setze dann mit derselben Oeffnung den Zirkel in P ein und trage noch eine zweite Eintheilung P 5^0 4^0 3^0 ... 1^0 auf den Grundkreisbogen, worauf ein Rest $B_1 1^0 = P 1 = P 1'$ übrig bleiben wird. Um nun z. B. den Kurvenpunkt zur Rollung P 4′ zu finden, schlage mit der Kreissehne P 4 aus 4^0, und mit der Cykloidensehne 4′ 4 aus B_1 oder 6′ je einen Bogen, so ist deren Schnittpunkt K der gesuchte Kurvenpunkt.

2) Aussen- und Innenbahnen. Das Verfahren ist nur in Fig. a, für die verlängerte Epicykloide, eingetragen; Anwendung auf andere Fälle nicht schwer. Lege durch den gegebenen Kurvenpunkt B' den Schreibkreis, theile wie bisher und ermittle ebenso die Schnitte I, II, III ... der Theilpunktradien des Rollkreises mit dem Schreibkreise. Gesucht der Kurvenpunkt K' zu den Rollpunkten 1 und 1′; ihnen entspricht der Schnittpunkt VI (= VII minus I) am Schreibkreise. Beschreibe daher aus 1′ mit der Strecke P VI und aus 7′ mit der Strecke 6′ VI je einen Kreisbogen, so schneiden diese einander im gesuchten Kurvenpunkte K'. Oder: beschreibe wie soeben den Kreisbogen mit P VI aus 1′ und einen andern aus dem Mittelpunkte M_1 des Grundkreises durch den Schnittpunkt VI, so findet abermals Durchschneidung in dem gesuchten Kurvenpunkte statt.

Bei sämmtlichen Verfahren unter (A), (B) und (C) werden Grundkreis, Rollkreis und Schreibkreis nur einmal gezeichnet, was das Arbeiten sehr erleichtert und den Arbeitenden für die erhöhten Ansprüche an schärfere Ueberlegung entschädigt.

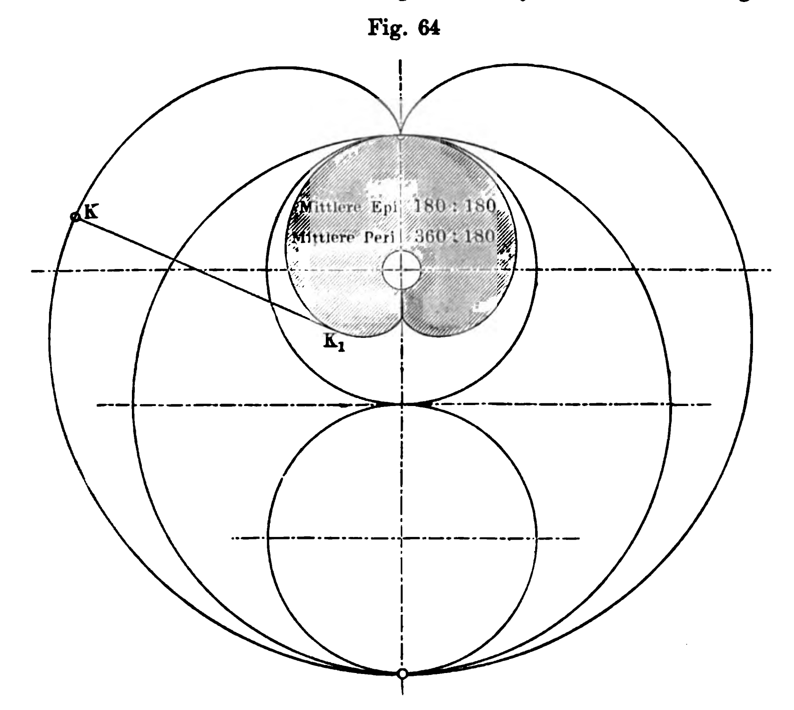
III.

Für den Vorlesungsunterricht ist es erwünscht, die Kurven anschaulich und zugleich einigermafsen richtig an die Tafel zeichnen zu können. Fertig mitgebrachte Zeichnungen sind zwar recht nützlich, namentlich im Zeichensaale, wecken aber nicht

entfernt das Verständniss, wie selbst unvollkommene Handzeichnungen, die vor den Augen des Zuhörers entstehen. Für solche Handzeichnungen habe ich seit einiger Zeit hölzerne Schmiegen, die nach Reiflinien geformt sind, zu Hülfe genommen. Eine dünne, feste Schnur, die man straff gespannt hält, vertritt dabei den Stab, der auf der Reiflinie rollt; in eine einfache, geknotete Oese wird die Kreide eingesetzt. Was sich oben (S. 52) als begrifflich nicht empfehlenswerth erwies, das Auf- und Abwickeln eines Fadens, eignet sich hier für einen begrenzten Theil praktischer Aufgaben recht gut.

Vor allem lassen sich die gemeinen Cykloiden gut darstellen, da deren Reiflinien wiederum gemeine Cykloiden sind. Fig. 64

Fig. 64



zeigt die Schmiege zu einer mittleren Epicykloide, der Epikardioide. Hierzu gezeichnet ist die gemeine Form, K Kurvenpunkt, K_1 Krümmungsmittelpunkt. Da nun die gemeine Epikardioide = der gemeinen Perikardioide ($^2/_1$ tels - Pericykloide), so kann das Schmiegbrett für beide Kurven dienen. Die Schnur ist in einen schmalen Sägenschnitt geklemmt, der in das Mittel-

loch mündet; durch Heraus- und Hineinziehen derselben kann man auch den Schreibstift entfernen und nähern, worauf derselbe Zeilzüge zu der Kardioide beschreibt (s. S. 57).

Fig. 65

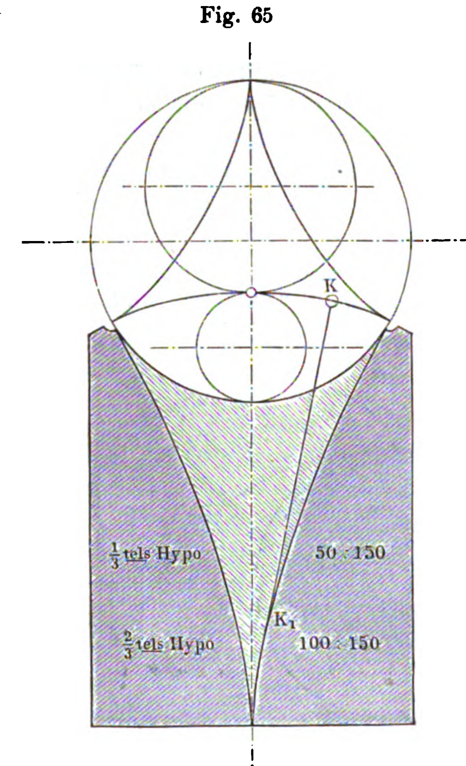
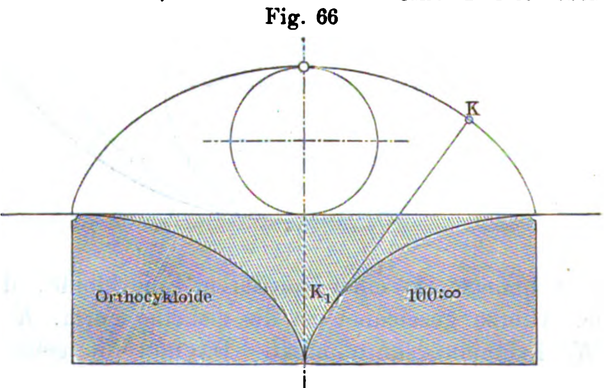


Fig. 65 Schmiege zu einer gemeinen Hypocykloide. Die Schmiege selbst ist, wie wir aus §. 3 wissen, eine gemeine Hypocykloide, die vom Zeichenstifte *K*, wenn die Fadenlänge gleich der Kurvenlänge gemacht war, eine gemeine Drittelshypocykloide, aber auch, wegen deren zweifachen Erzeugbarkeit (S. 16), eine gemeine $^2/_3$ tels-Hypocykloide.

Fig. 66 Schmiege zur gemeinen Orthocykloide; Schmiege und Kurve erhalten gleiche Form.

Fig. 67 zeigt noch eine zweite orthocykloi-

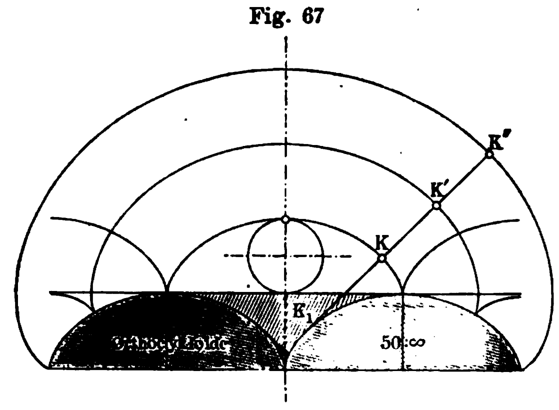
Fig. 66



dische Schmiege, und zwar die von der halben Rollkreisgrösse des vorigen Falles. Der Schreibstift erzeugt bei *K* die gemeine

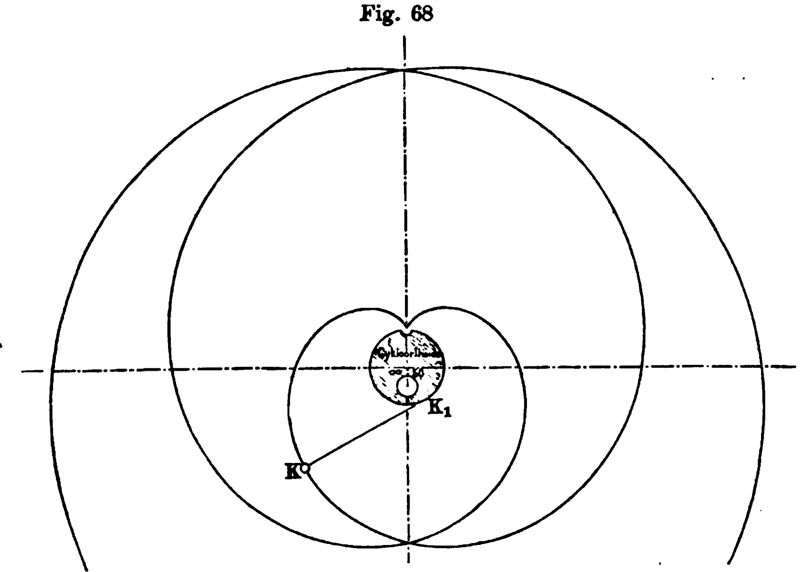
Form, welche nach §. 17 von den Radien des Rollkreises des vorigen Falles eingehüllt wird. Bei K' und K'' ist noch gezeigt, wie mit Hülfe derselben Schmiege Zeilzüge zur gemeinen Kurve beschrieben werden können *).

Fig. 67



In Fig. 68 ist auch die Schmiege zur gemeinen Kreisevolvente oder Cykloorthoide dargestellt. Die Reiflinie wird der Grundkreis, der in der That auch eine Cykloorthoide, aber von einem Grundkreise vom Durchmesser Null ist. Das schlichte, runde Scheibchen leistet recht gute Dienste, u. a. indem es blickfällig („*ad oculos*") beweist, dass die Aequidistanten der Kreisevolvente wiederum Kreisevolventen sind.

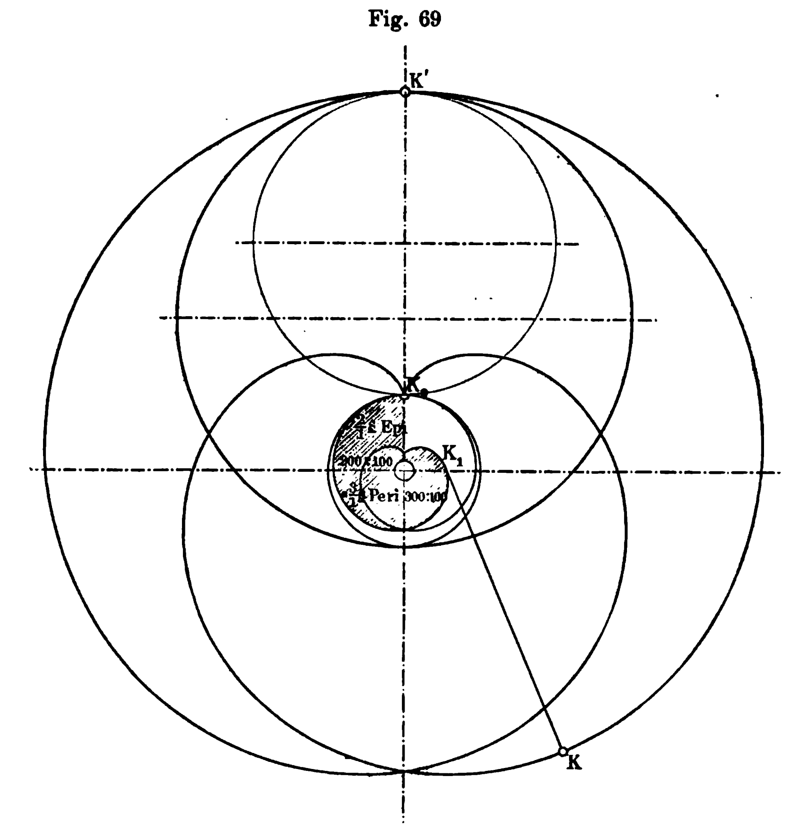
Fig. 68



*) Sie kommen, wie überhaupt die Cykloiden, ungemeine und gemeine, als Brennlinien (katakaustische Linien) vor.

Die „grossen“ Epi- und Pericykloiden sind nicht ganz so leicht mittelst Schmiegen zu zeichnen, wie die kleinen, da ihre Schmiegekurven Schleifen erhalten. Doch kann man sich dadurch helfen, dass man nur die Hälfte oder einen andern Bruchtheil der Reiflinie an der Schmiege ausführt und letztere nach Umlegung aufs neue benutzt. Ein Beispiel gibt Fig. 69, die die

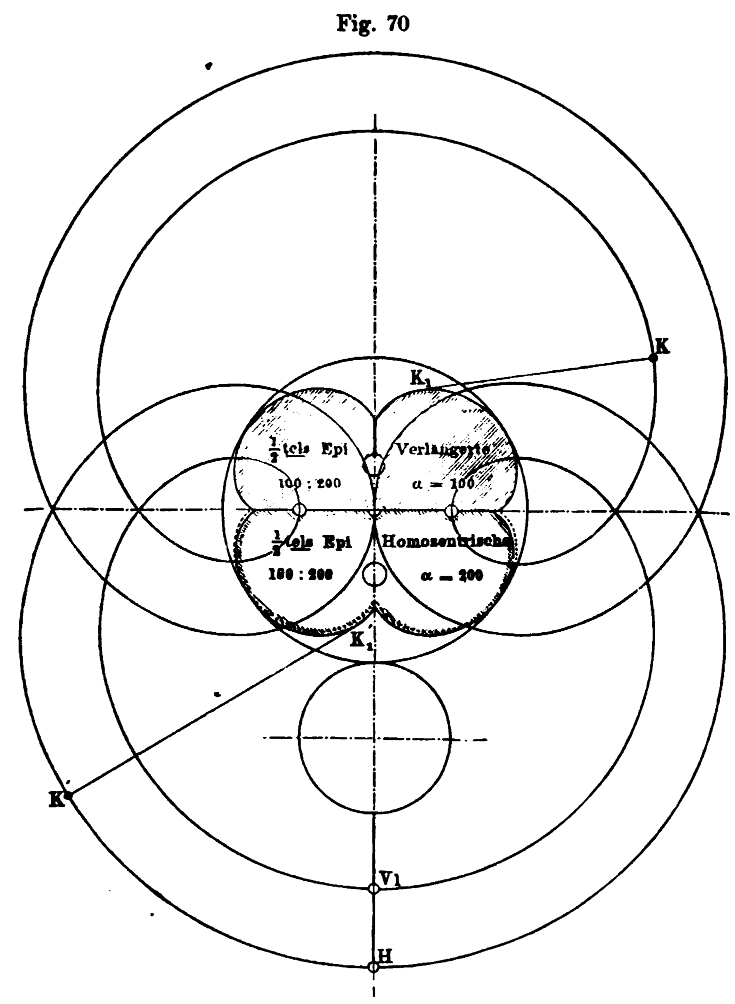
Fig. 69



Schmiege für eine gemeine $^2/_1$ tels-(„zwei Eintels-“) Epi- und zugleich $^3/_1$ tels-Pericykloide vor Augen führt. Die Reiflinie ist, wie wir aus §. 15 wissen, wiederum eine gemeine $^2/_1$ tels-Epicykloide; das Verkleinerungsverhältniss haben wir oben, §. 8, betrachtet. Nachdem die Schnurlänge richtig eingestellt ist, wird der Zug beispielsweise bei K' begonnen und bei K_0 beendigt, darauf die Schmiege umgelegt und die zweite Hälfte des Zuges, von K_0 bis wieder nach K', ausgeführt.

Schwieriger bezüglich der Schmiegenform, aber noch weit mehr dienlich für den Unterrichtszweck wird das Verfahren, wenn „ungemeine“ Cykloiden zu verzeichnen sind. Fig. 70 und Fig. 71 (a. f. S.) zeigen als Beispiele die Schmiegenformen für drei unge-

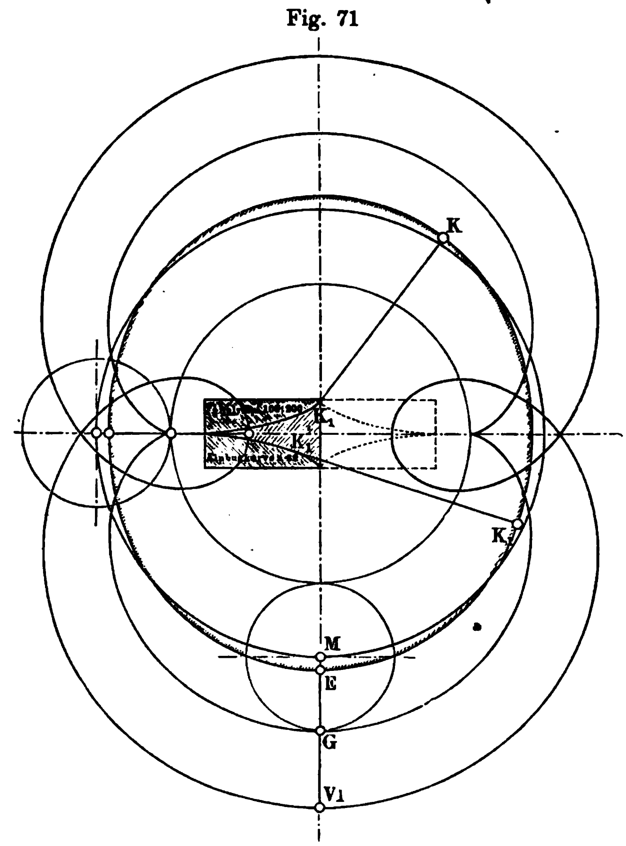
Fig. 70



meine Epicykloiden. Verhältniss des Rollkreises zum Grundkreis 1 : 2. Der Faden $K_1 K$ beschreibt bei K die bei der Verlängerung des Schreibradius um $^1/_2\, R$ entstehende verlängerte Zweitels-Epicykloide V_l, unterhalb der waagerechten Mittellinie ist die umgelegte Schmiege, die für die Fortsetzung der Kurve V_l dient,

durch Punktirung angedeutet. Eine zweite Schmiege, in der unteren Hälfte der Figur bloss in Umräntelung angegeben, dient zur Verzeichnung einer noch mehr verlängerten, nämlich der mittelsläufigen (Zweitels-)Epicykloide *H*. Das Profil dieser Schmiege ist nicht zu verwechseln mit dem punktirten Zuge, der die Umlegung der oberen Schmiege bedeutet. Man sieht, dass

Fig. 71



die beiden Schmiegenumrisse sehr ähnlich ausfallen. Dies lässt erkennen, dass die Kurve *H* sehr ähnlich einer Aequidistanten oder einem Zeilzug der Kurve V_1 ist.

Dieselbe Aufgabe von der Zweitels-Epicykloide ist in Fig. 71 noch weiter behandelt. Zunächst sind der Deutlichkeit halber die gemeine Epicykloide *G* und die vorhin besprochene, um $^1/_2 R$ verlängerte Epicykloide V_1 nochmals eingetragen, sodann aber ist für eine dritte ungemeine Form derselben Cykloide die

Schmiege dargestellt. Es handelt sich um eine Einbugkurve E. Der sie beschreibende Punkt liegt ganz nahe dem Mittelpunkte des rollenden Kreises. Ihre Reiflinie erhält die an der Schmiege erkennbare Gestalt. Zur Erleichterung des Verständnisses ist auch die Mittelsbahn M aufgetragen. Ganz deutlich wird durch die Zeichnung, die sich an der grossen schwarzen Tafel sehr gut mit den Schmiegen herstellen lässt, wie die Einbugkurve die Mittelsbahn wellig umzieht, ohne dass die Krümmungshalbmesser ihr Vorzeichen wechseln; hier hat der wellige Zug zwei Berge und zwei Thäler. Die Schmiege muss, wie die Punktirung andeutet, nach Verzeichnung der einen Hälfte des Zuges E um 180° umgelegt werden. Bemerkenswerth ist die grosse Aehnlichkeit der Kurve E mit einer Ellipse. (Vergl. nun S. 50 oben.)

Die mittleren Hypocykloiden sind nun, wie wir wissen, wirklich Ellipsen; eine jede derselben können wir, wie oben besprochen, sowohl als äussere, wie als innere — verlängerte oder verkürzte Hypocykloide — erzeugt denken. Der schon wiederholt berührte Fall ist in Fig. 72 (a. f. S.) behandelt. Beiden Erzeugungsweisen aber entspricht für die Kurve dieselbe Reiflinie. Die nach dieser geformte Schmiege (vergl. auch S. 60) zeigt die Figur. Nach Verzeichnung der einen Hälfte der Ellipse hat man die Schmiege umzulegen, um die andere Hälfte ziehen zu können.

Seien a' und b' die kleine und die grosse Halbachse der zu verzeichnenden Ellipse, so haben wir nach Erörterung S. 20, wenn die Ellipse als äussere erzeugt werden soll,

$$2R + a' = b',$$

und wenn als innere,

$$2R' - a' = b',$$

woraus zunächst folgt:

$$R = \frac{b' - a'}{2} \text{ und } R' = \frac{b' + a'}{2},$$

und sodann beim Vergleichen der vier Halbmesser der Kardankreispaare:

$$\frac{R'}{R} = \frac{R_1'}{R_1} = \frac{b' + a'}{b' - a'}.$$

Hier, für Fig. 72, war gewählt $b' = 2a'$. Daraus folgt:

$$\frac{R'}{R} = \frac{R_1'}{R_1} = 3,$$

d. h. die Erzeugung als innere Ellipse erfordert dreimal so grosse Kardankreise, als die Erzeugung als äussere Ellipse.

Fig. 72

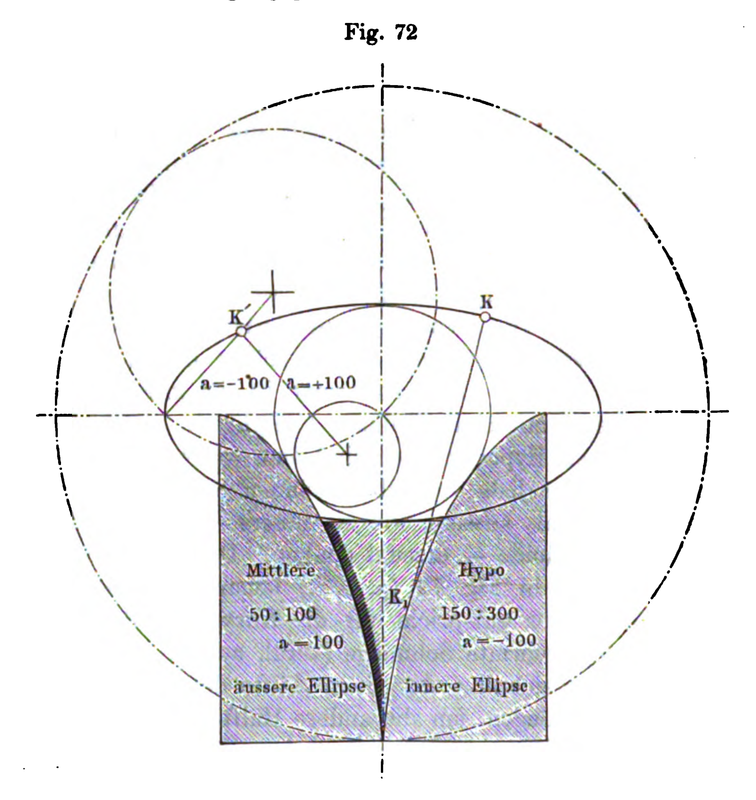
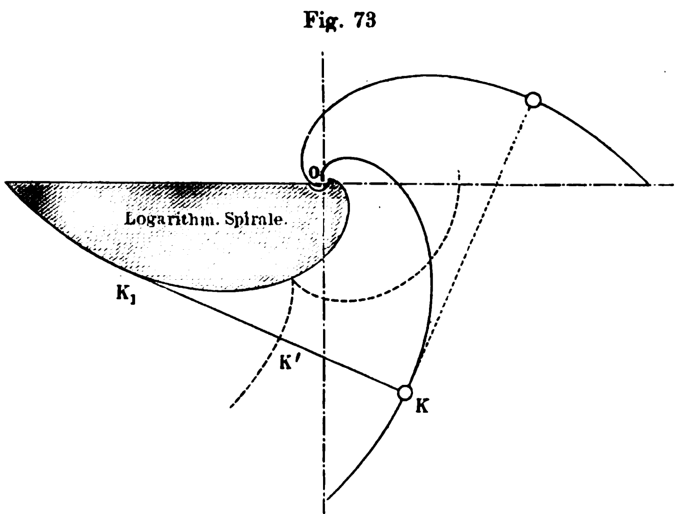

K'
K
a=-100
a=+100
Mittlere
50:100
a=100
äussere Ellipse
K_1
Hypo
150:300
a=-100
innere Ellipse

Fig. 73


O
Logarithm. Spirale.
K_1
K'
K

Die Reifschmiegen lassen sich, wie leicht einzusehen, noch für mancherlei Kurven vortheilhaft benutzen. Als auf ein Beispiel von einer gewissen Bedeutung für die Geschichte der Mathematik sei auf die in Fig. 73 dargestellte Schmiege zu einer logarithmischen Spirale hingewiesen. Ihre Reiflinie ist wieder eine und zwar dieselbe logarithmische Spirale, vorausgesetzt, dass der beschreibende Punkt K anfänglich im Mittelpunkte O liegt; ist dies nicht der Fall, wie z. B. beim beschreibenden Punkte K', so wird wieder eine Aequidistante der Hauptkurve beschrieben. Der Tangentenwinkel ist hier gleich 45° gewählt, was zur Folge hat, dass gleichstrahlige Punkte von vier aufeinander folgenden und einander als Reiflinien dienenden Spiralen stets in den Ecken eines Quadrats liegen. Jakob Bernoulli hat, wie bekannt ist (Opera), die merkwürdige Eigenschaft der logarithmischen Spirale, ihre eigene Reiflinie zu sein, entdeckt und deshalb die Kurve besonders geschätzt, sie ja auch *Spira mirabilis* genannt. Er verband mit deren Theorie tiefsinnige Gedanken und erbat sich noch auf seinem Sterbelager, dass ihm die Kurve auf seinen Grabstein geritzt werden möge mit der Beischrift *Eadem mutata resurgo*. Der Stein ist noch heute vorhanden und zwar ist er im Kreuzgang der Münsterkirche in die Wand eingelassen. Wer ihn in Erinnerung an den grossen Mathematiker und Förderer hoher Wissenschaft aufsucht, wird gerne Nachsicht für die trauernde Wittwe haben, die die Kurve nicht richtig zeichnen liess, nämlich als vielemal umlaufende arithmetische Spirale, eine Kurve, die den geistvollen Spruch allerdings nicht wiedergibt.

§. 19

Sphärische, Kugel- oder Kegelcykloiden

Wenn man zu zwei in der Ebene aufeinander rollenden Kreisen durch deren Umfänge Senkrechten zieht, und zwar in ununterbrochener Folge, so hüllen diese zwei Kreiscylinder ein, die beim Rollen der erwähnten Kreise mit ihren Umflächen aufeinander rollen. Roll- und Grundkreis erscheinen dann als einzelne Lothschnitte der rollenden Cylinder. Statt der einfachen Kreisform können diese Cylinder auch anders gestaltete ebene Figuren zu Grundflächen gehabt haben und sind dann allgemeine Cylinder. Die Bewegung, welche sie beim Rollen gegenseitig

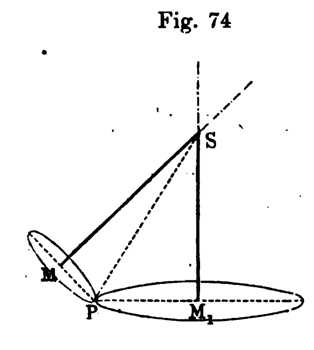
haben, nennt man „cylindrische Rollung“, wofür man auch „Walzenrollung“ sagen kann.

Unsre ebenen Cykloiden stellen hiernach besondere Fälle der Punktbewegung in cylindrischer oder Walzenrollung dar. Die Cylinderkanten, welche bei jeder neuen Stellung zusammenfallen, und deren, sich als Punkte darstellende Lothschnitte im Rollpunkte oder Pole zusammenliegen, sind die augenblicklichen Drehachsen der beiden allgemeinen Cylinder. Letztere haben somit Reihenfolgen von Drehachsen zu Kanten und man kann sie deshalb, wie ich vorgeschlagen*), die „Axoide“ der fraglichen Relativbewegung nennen. Zahllose Beispiele allgemeiner cylindrischer Rollung, denen manchmal recht verwickelte Axoidformen zugehören, kommen in den Maschinen vor; im zweiten Abschnitte sind einige derselben dargestellt.

Die Rollung zweier geometrischen Gebilde kann auch so stattfinden, dass beide stets einen und denselben Punkt gemeinsam haben, ohne dass die Rollung dadurch beeinträchtigt wird. Offenbar drehen sich dann alle Punkte des einen Gebildes oder Körpers um den genannten Punkt des andern Gebildes. Man nennt deshalb wohl die gegenseitige Bewegung, welche hierbei entstehen kann, „Drehung um einen Punkt“. Diese Bezeichnung ist aber nicht ausgiebig genug, um erkennen zu lassen, wie bei gesetzmässiger Weiterbewegung die Vorgänge darstellbar werden. Es empfiehlt sich deshalb, auf besondere Fälle einzugehen.

Ist mit dem genannten gemeinsamen Punkte S, Fig. 74, an jedem der beiden Gebilde ein Kreis derart fest verbunden, dass die gerade Verbindungslinie des Mittelpunktes des Kreises mit dem Drehpunkte S senkrecht zu der Kreisfläche steht und die beiden Kreise einander zudem noch berühren, so können dieselben aufeinander rollen, also in stetiger Aufeinanderfolge je einen Umfangspunkt P als Rollpunkt oder Pol gemeinsam haben. Ist dies der Fall, so befinden sich die Punkte des Kreises aus M gegen den aus M_1 in einer Kugelfläche um S vom Halbmesser SP, desgleichen die Punkte

Fig. 74



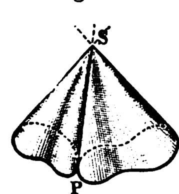
*) Siehe Berl. Verhandlungen 1871, S. 236, auch meine Theor. Kinematik (1877), S. 84.

des Kreises M_1 in einer, mit der eben genannten zusammenfallenden Kugelfläche, die M angehört. Die zwei Kreise, als aufeinander rollend, beschreiben gegenseitig Cykloiden. Diese liegen aber nicht in der Ebene, sondern in Kugelflächen; man nennt sie deshalb „Kugel-“ oder „sphärische Cykloiden.“

Man kann ihnen noch einen dritten Namen geben, sie nämlich Kegelcykloiden nennen. Denn zieht man aus den Kreisumfängen in ununterbrochener Folge Geraden durch den Punkt S, Fig. 75, so hüllen diese an beiden geometrischen Gebilden gerade Kegel ein und diese rollen aufeinander, wenn die Kreise rollen, da die Fortbewegungen aller Punkte der SP proportional ihren Abständen von S sind. Man hat aus diesem Grunde die vorliegende gegenseitige Bewegung „Kegelrollung“ oder „konische Rollung“ genannt; ihr gegenüber steht die vorhin besprochene Walzenrollung oder cylindrische Rollung. Die Kanten der rollenden Kegel bilden augenblickliche Drehachsen, so dass die beiden Kegel als die Axoide der betrachteten Bewegung zu erkennen sind. Diese können statt der Kreise zu Grundflächen auch allgemeiner gestaltete — immer sphärisch gedachte — Figuren haben, wobei die rollenden Kegel „allgemeine“ Kegel, die konische Rollung „allgemeine“ Kegelrollung wird. Von dieser ist die allgemeine cylindrische Rollung ein Fall, nämlich der, bei welchem die gemeinsame Kegelspitze S unendlich weit von P abliegt.

Fig. 75

Fig. 76



Die Kegelcykloiden kommen in den Maschinen als Punktbahnen zahlreich vor, da jedes Paar von Drehachsen, die einander schneiden, bei gesetzmässig abhängigen Bewegungen die Kegelachsen unsres Beispiels vorstellen kann.

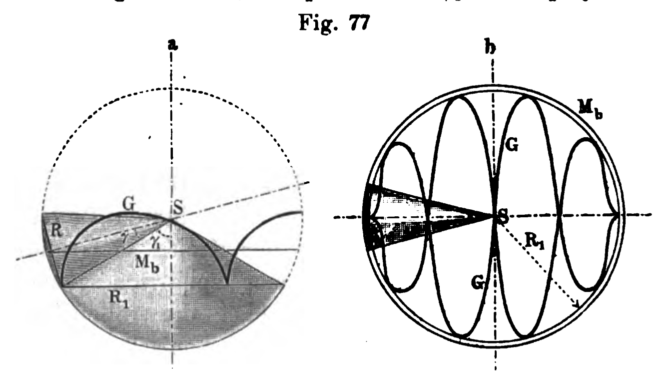
Die Formen der sphärischen oder Kegelcykloiden haben nothwendig Aehnlichkeit mit denen der ebenen, weichen aber in gewissen Fällen auch beträchtlich von denselben ab; denn die unendlich fernen Punkte, welche bei den ebenen Cykloiden vor-

kommen, erscheinen hier nicht, auch verschwinden andere äusserliche Aehnlichkeiten. Mit der Benennung werden wir übrigens, soviel immer thunlich, an die der ebenen Cykloiden anschliessen müssen.

Die sphärischen Cykloiden sind schwer bildlich darzustellen, da sich bei ebener Bildfläche nur Projektionen geben lassen, ihre räumliche Darstellung aber selbst auf kugeligen Bildflächen, deren sich die Astronomen zu Unterrichtszwecken bedienen, nicht sehr übersichtlich ausfällt. Das beste Darstellungsmittel liefern Modelle, welche die rollenden Normalkegel körperlich vor Augen führen. Solche Modelle habe ich für das kinematische Kabinet der Kgl. Techn. Hochschule ausgeführt*). Hier müssen wir uns mit Projektionen behelfen.

Die nachfolgenden Figuren stellen einige der wichtigsten Kegelcykloiden dar. Fig. 77 a sphärische 3tels-Epicykloide, in Seitenansicht gezeichnet, b sphärische $^4/_1$tels-Epicykloide, im

Fig. 77



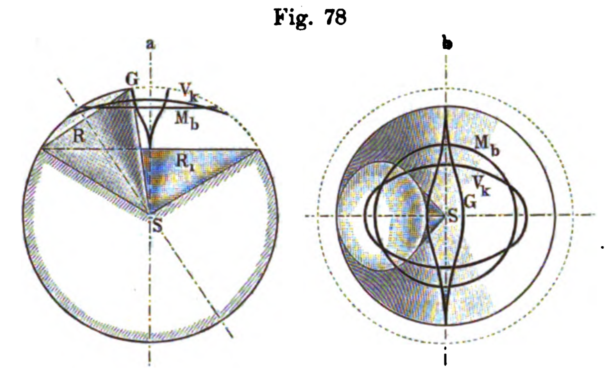
Grundriss. Beidemal ist ausser der Randbahn G auch noch die Mittelsbahn M_b eingetragen; sie ist ein Breitenkreis, bezw. ein Paar von solchen, das aber in einen grössten Kreis, einen Aequator, zusammengeht, wenn die Summe der halben Spitzenwinkel, $\gamma + \gamma_1$ ein rechter wird.

Fig. 78 zeigt eine 2tels-Hypocykloide in Auf- und Grundriss. Dieser Fall entspricht dem der Kardankreise bei den ebenen Cykloiden. Eingetragen ist die Randbahn G, eine verkürzte Kurve V_k und die Mittelsbahn M_b. Die Kurve V_k hat einen ellipsenähnlichen Verlauf, G aber nicht die Einfachheit, wie bei den

*) Beschreibung s. Berliner Verhandlungen 1876, S. 321 ff., Tafel VII und IX.

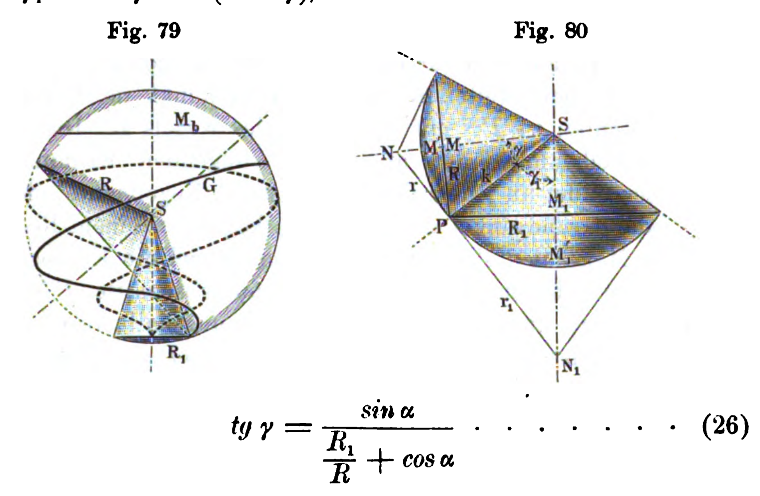
ebenen Cykloiden. Es entsteht überhaupt bei den Kegelcykloiden eine weitaus grössere Mannigfaltigkeit, als dort, indem für ein gegebenes Verhältniss $R : R_1$ zwischen Roll- und Grundkreis sich

Fig. 78



die verschiedensten Paare von Kegeln, d. h. Spitzen- und Achsenwinkeln $\alpha = \gamma + \gamma_1$ angeben lassen. Man hat $R : R_1 = sin\,\gamma : sin\,\gamma_1 = sin\,\gamma : sin\,(\alpha - \gamma)$, woraus sich entwickelt:

Fig. 79 Fig. 80



$$tg\,\gamma = \frac{sin\,\alpha}{\frac{R_1}{R} + cos\,\alpha} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (26)$$

Dies ergibt eine ganze Werthreihe, je nachdem α gegeben ist oder angenommen wird.

Die $^3/_1$ tels-Pericykloide, welche Fig. 79 darstellt, ist hiernach auch nur ein Fall aus der grossen Reihe von $^3/_1$ tels-Pericykloiden.

Immerhin sind die Formverwandtschaften zwischen den sphärischen und den ebenen Cykloiden noch gross genug, um die Namengebung gleichmässig durchführen zu können. Wir können

uns hierfür einen Anhalt verschaffen: er liegt in der Heranziehung derjenigen ebenen Cykloiden, welche den Krümmungskreisen der aufeinander rollenden Kegelmäntel entsprechen. Heben wir zu dem Ende zwei berührende Kreise R und R_1 aus einem Paar epicyklisch rollender Kegel heraus, Fig. 80 (a. v. S.), und errichten im Berührungspunkte und Rollpunkt P eine lothrechte Ebene oder Lothebene auf PS, so schneidet diese die beiden Kegelmäntel in ebenen Kurven, die beim Rollen von R und R_1 augenblicklich auch aufeinander rollen. In der genannten Ebene haben wir die Krümmungsmittelpunkte der augenblicklich rollenden Kegelschnitte zu suchen. Denken wir uns nun zuerst den Kegel R auf R_1 um unendlich wenig vorwärts gerollt, und darauf die Lothebene aufs neue auf PS errichtet, so schneidet diese zweite Lothebene die erste in einer Geraden, welche mit dem ersten Krümmungsstrahle den Krümmungsmittelpunkt gemein haben muss. Nun aber schneiden alle aufeinander folgenden Lagen der Lothebene einander in dem Punkte N_1 der Kegelachse SN_1, in welchem die Senkrechte zu PS die Achse trifft. N_1 muss also der Krümmungsmittelpunkt sein. Aehnlich bei Rollung von R_1 auf dem zur Ruhe gebrachten Kegel R verfahrend, erhalten wir den zweiten Krümmungsmittelpunkt im Schnitt N der Senkrechten zu PS mit der Achse des Kegels R. Die ungebrochene Reihenfolge der aufeinander folgenden Krümmungshalbmesser bildet an jedem der Körper einen Kegelmantel, dessen Basis- oder Grundwinkel den des Hauptkegels zu einem Rechten ergänzt. Man hat deshalb die gefundenen Kegel die Ergänzungskegel der gegebenen genannt; ihre Kantenabschnitte $PN = r$ und $PN_1 = r_1$ sind die gesuchten Krümmungshalbmesser. Wir erhalten für dieselben, wenn die Kegelkante $SP = k$ ist,

$$r = k\,tg\,\gamma, \qquad r_1 = k\,tg\,\gamma_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

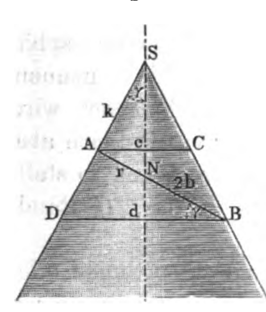
Tredgold hat sich seiner Zeit das grosse Verdienst erworben, bei den Winkelrädern die alten schwerfälligen Verzahnungsweisen durch die heute gebräuchliche zu ersetzen; bei ihr dienen die Kantenabschnitte der Ergänzungskegel als Halbmesser von Stirnrädern, deren Verzahnung die sphärische sehr gut annähert. Er begründete sein Verfahren damit, dass die Mäntel der Ergänzungskegel die Kugelsohlen der Hauptkegel in den Kreisen R und R_1 genau berührten und in deren Nähe mit den Kugelflächen sehr nahe zusammenfielen, daher der unterste schmale Streifen des Kegelmantels annähernd als Abwicklung der von ihm gedeckten

schmalen Kugelzone dienen könne. Man hat, soviel ich weiss, nicht bemerkt, dass r und r_1 thatsächlich die Krümmungshalbmesser augenblicklich rollender Kegelschnitte sind.

Diese Besonderheit ist für die Verzahnungstheorien so wichtig, dass es zweckmässig sein möchte, den geführten Beweis noch durch einen anderen zu bestätigen.

Legt man durch einen geraden Kreiskegel, Fig. 81, dessen Spitzenwinkel $< 90^0$, einen ebenen Schnitt AB senkrecht zur Kegelkante SA, so schneidet derselbe den Kegelmantel in einer Ellipse von der grossen Achse $AB = 2b$. Aus A und B Senkrechten AC und BD zur Kegelachse bis zur gegenüberliegenden Kegelkante ziehend, hat man, wenn $AC = c$, $BD = d$ gesetzt wird, für die kleine Halbachse a der Ellipse: $a^2 = {}^1/_4\,cd$. Nun aber ist der Krümmungshalbmesser für die Scheitel an der langen Achse: $r = a^2 : b$. Man hat also: $r = {}^1/_4\,cd : b$. Hierin ist, wenn der Kantenabschnitt SA wieder mit k bezeichnet wird, $c = 2k\,sin\,\gamma$ und $d = 2b : cos\,\gamma$, also:

Fig. 81



$$r = \frac{1}{4}\,\frac{2k\,sin\,\gamma\,.\,2b}{b\,cos\,\gamma} = k\,tg\,\gamma \quad . \; . \; . \; . \quad (28)$$

wie vorhin auf anderem Wege gefunden. Ist $\gamma = 45^0$, Fig. 82 a, so wird der Kegelschnitt eine Parabel, $tg\,\gamma = 1$, $r = k$. Ist

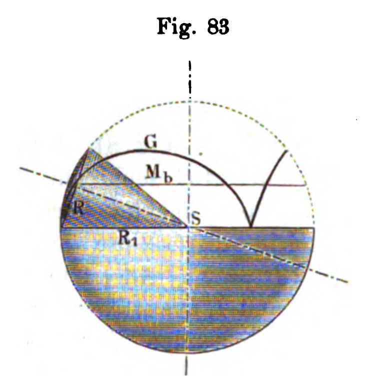
Fig. 82

$\gamma > 45^0$, so wird der Kegelschnitt eine Hyperbel, $tg\,\gamma > 1$, $r = k\,tg\,\gamma$. Immer ist $r > R$. Unser zweiter Beweis hat somit den ersten vollständig bestätigt.

Das Ganze leistet uns nun die erhofften Dienste zur Ueberschauung der sphärischen Cykloiden. Machen wir nämlich nun einmal $\gamma = 90^0$, so fällt zunächst die Kegelmantelfläche mit einer

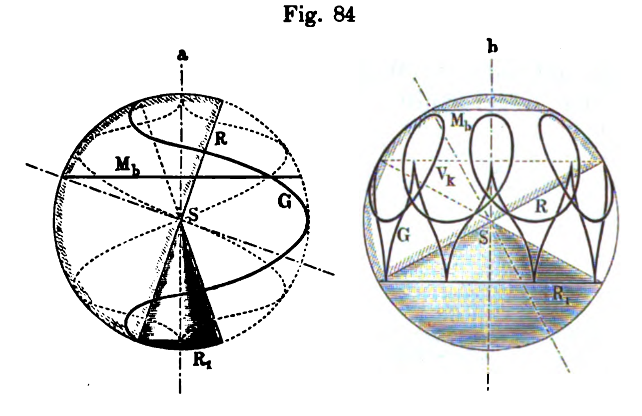
Ebene zusammen, ist aber deshalb keine Ebene; schon vor längerer Zeit habe ich vorgeschlagen, den Kegel dann einen Plankegel zu nennen. Für den Krümmungshalbmesser erhält man nun: $r = \infty$, oder, wenn es sich um den Grundkegel R_1 handelt, $r_1 = \infty$. Unendlicher Grundkreis und endlicher Rollkreis ergeben bei den ebenen Cykloiden die Orthocykloide; somit dürfen wir auch die entstehende Kurve eine sphärische Orthocykloide nennen. Ihr Grundkreishalbmesser wird nicht unendlich; es lässt sich also das Verhältniss von R und R_1 wie früher einführen, und so stellt denn Fig. 83 eine sphärische 3tels-Orthocykloide dar. G Randbahn, M_b Mittelsbahn.

Fig. 83



Nun ist es auch leicht, zur sphärischen Cykloorthoide oder sphärischen „Evolvente“ überzugehen; sie wird erhalten, wenn ein Plankegel auf einem spitzen oder stumpfen Kegel rollt. Fig. 84 a und b. a zeigt eine $^3/_1$ tels-, b eine $^9/_8$ tels-Cykloorthoide oder

Fig. 84



Evolvente. In letzterer Figur ist ausser der Randbahn G auch noch eine verkürzte Kurve V_k eingetragen, die Mittelsbahn M_b nach wie vor. Wer Aehnlichkeitsschlüsse von den ebenen Cykloiden auf die sphärischen anwenden möchte, wird hinsichtlich der Evolvente am ehesten in Irrthum verfallen, da, wie bei allen sphärischen Cykloiden, keine der Bahnen ins Unendliche fällt.

Statt der Geraden, in welche eine ebene Kreisevolvente bei unendlich grossem Grundkreise (Verzahnung der Zahnstange) übergeht*), tritt hier eine Wendekurve auf. Die Kurvenäste von G verlaufen symmetrisch zwischen dem Grundkegel und seiner Fortsetzung jenseits der Kegelspitze; der verkürzten Kurve V_k, die unter b eingetragen ist, entspricht eine symmetrische Wiederholung V_l unterhalb des Aequators.

Die Krümmungsverhältnisse der sphärischen Cykloiden sind sehr verwickelter Natur; Wendekurven und das Entsprechende zu dem, was wir oben Einbugkurven nannten, kommt beides auch hier vor. Noch wenig ist davon behandelt.

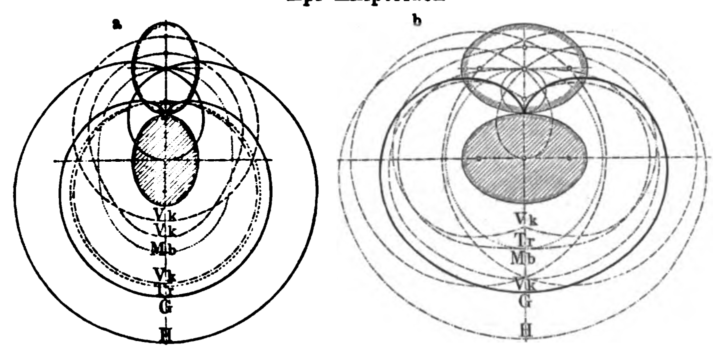
§. 20

Elliptoiden

Wenn wir von dem im Vorausgehenden gewonnenen Standpunkte die ganze Reihe der behandelten cyklischen Kurven, sphärischen wie ebenen, als Gesammtheit überschauen, so tritt es uns nahe, den Kreis als Ellipse, d. h. als einen besonderen Fall dieser Kurvengattung anzusehen, auch diejenigen Kurven zu

Fig. 85

Epi-Elliptoiden



betrachten, welche die Punkte der Ellipse beschreiben, die auf einer anderen, ruhenden Ellipse rollt. Wir kehren dabei in die Ebene zurück. Die Rollzüge der Ellipse hat man meines Wissens bisher nicht eingehend behandelt. In den folgenden Figuren

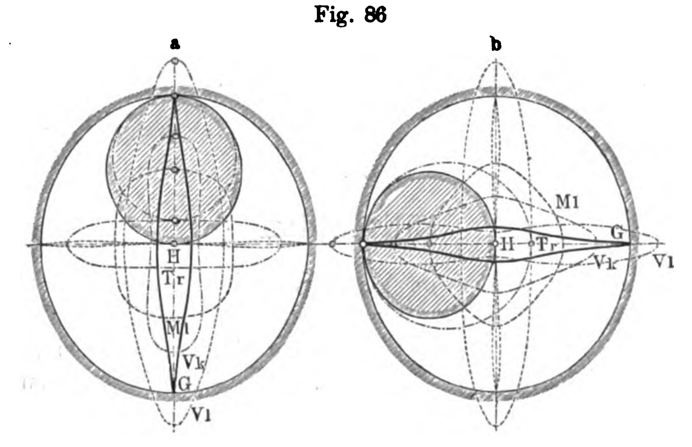
*) Wie u. a. bei Bilgram's Räderschneidmaschine vorausgesetzt wird.

sind einige derselben dargestellt; man kann sie, ganz im Anschluss an die Namengebung der Kreisrollzüge, „Elliptoiden“ nennen.

Fig. 85 zeigt unter a und b zwei Schaaren mittlerer Elliptoiden. Sie gehören einem und demselben Falle an; es ist nur von verschiedenen Umfangspunkten ausgegangen.

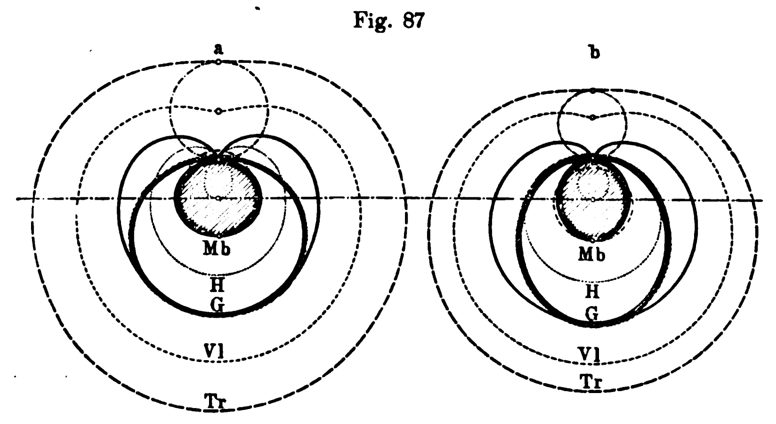
Mittlere Hypoelliptoiden zeigen die Figuren 86 a und b. Zu erwähnen ist hierbei vielleicht allgemein, dass die Umfänge auf-

Fig. 86



einander rollender Ellipsen nur dann ein gemeinsames Maass haben, wenn sie gleiche Achsenverhältnisse besitzen.

Fig. 87



Mittlere Perielliptoiden sind in Fig. 87 a und b dargestellt. Die Figuren lassen erkennen, wie bei Annäherung des Achsenverhältnisses an die Einheit die Elliptoiden den Cykloiden mehr

und mehr ähnlich werden. Die Mittelsbahnen M_b nehmen in den vier vorgefürten Fällen eigenthümliche Gestalten an. Zu den tropischen Kurven T_p ist jedesmal ein Wendekreis eingetragen, ermittelt aus den Krümmungskreisen der Kurvenelemente, die einander in der gezeichneten Stellung berühren. Da diese Krümmungskreise durch jeden Ellipsenquadranten von Gross zu Klein, und umgekehrt, wechseln, gibt es der tropischen Kurven hier unendlich viele; einigermafsen wichtig sind nur diejenigen, die den Scheitelpunkten der Ellipsen entsprechen.

§. 21

Die Gegenseitigkeit der Rollung

In der Gesammtheit der bis hierher als Beispiele gebrachten Fälle kann uns eine gewisse Schwerfälligkeit der Ausdrucksweise als hinderlich auffallen, diejenige, dass man immer im Sinne halten soll, dass die eine der Kurven ruhend, die andere bewegt sei. Dennoch zeigte sich wiederholt, dass diese Voraussetzungen ohne weiteres vertauscht werden können, wie z. B. beim Uebergange von den „Hypo"- zu den „Peri"-Kurven, von Orthocykloiden zu den Cykloorthoiden. Sehen wir näher zu, so bemerken wir, dass die gepaarten Kurven, trotz diesem Uebergange, dieser Vertauschung, eine geometrische Beziehung gemeinsam haben und bei dem Uebergange nicht verlieren; es ist die Eigenschaft, aufeinander zu rollen. Daraus folgt aber, dass das Ruhenlassen der einen Kurve bei Bewegtheit der anderen nicht etwas Wesentliches sein kann, sondern etwas sein muss, was der Logiker eine zufällige Eigenschaft nennt. Wir bemerken, wenn wir sie verfolgen, dass wir sogar beide Kurven gleichzeitig in Bewegung setzen dürfen, wenn wir nur die Rollung ungestört bestehen lassen; die Rollzüge werden dann alle dennoch beschrieben, nach wie vor, nur nicht auf der vor uns ruhenden Ebene, sondern von den Punkten der Ebene der einen Kurve gegen die Ebene der anderen, der abgebenden gegen die aufnehmende Kurve. Mit anderen Worten: wir haben Relativbewegungen der aufeinander rollenden Kurven (Kreise und Ellipsen) oder auch Flächen (Cylinder und Kegel) dargestellt. Das Zurruhebringen war nur erstes Hülfsmittel, nicht Nothwendigkeit.

Wir können daher z. B. sagen: die mittleren Hypo- und Pericykloiden, Fig. 2 und 3, stellen die gegenseitigen oder Relativbewegungen zweier aufeinander rollenden Kreise vom Durchmesserverhältniss 1:2 dar. Diese beiden gegenseitigen Bewegungen finden immer gleichzeitig statt und werden einzig bestimmt durch die Grösse der beiden aufeinander rollenden Kreise, oder allgemeiner: durch Form und Grösse der beiden aufeinander rollenden Kurven. Die obigen Figuren sind demnach Einzeldarstellungen der in den betreffenden phoronomischen Aufgaben vorkommenden Relativbewegungen. Ich habe den Uebergang von der einen Darstellung zu der zugehörigen anderen die Umkehrung der stattfindenden Bewegung genannt. Halten wir diese ganze Anschauung fest und folgern aus ihr die allernächsten Lehrbegriffe, so schrumpft die Anzahl der bisher betrachteten Fälle auf rund die Hälfte zusammen!

Bei den cyklischen Kurven sehen wir alsbald die Pericykloide zur Hypocykloide, die Kreisevolvente zur Orthocykloide, oder jetzt strenger ausgedrückt: die „Cykloorthoide“ zur „Orthocykloide“ im Verhältniss der Umkehrung stehen. Hiernach müssten die Cykloidengattungen eine gerade Anzahl haben. Indessen, die Umkehrung des die Epicykloiden erzeugenden Kreispaares liefert wiederum eine Epicykloidenaufgabe (z. B. die „kleine“ eine „grosse“), wonach denn äusserlich die Geradzahligkeit der Einzelfälle verloren geht, die obige Anzahl 5 der Fälle aber eine verdeckte 6 vorstellt.

Zweifellos geht zugleich aus dieser ganzen Betrachtung hervor:

XII. dass die beiden Relativbewegungen zweier gegenseitig rollenden Kurven ganz gleichwerthig sind, sowie dass niemals eine derselben allein, sondern immer die eine neben der andern besteht.

Wenn man also zwei aufeinander rollende Kurven A und B vor sich hat und will die zwischen denselben bestehende Bewegung geometrisch vollständig kennen lernen, so hat man sowohl die Rollung von A auf B als diejenige von B auf A in Betracht zu ziehen. Jede dieser beiden Untersuchungen hat das gleiche Recht, keine einen wissenschaftlichen Vorzug vor der andern. Diese Anschauung ist gewiss einfach, völlig anspruchslos, ganz vorurtheilsfrei, und in ihrer Richtigkeit sowohl einleuchtend als unerschütterbar. Dass man dies lange Zeit hindurch nicht ein-

gesehen hat, ist andrerseits ganz begreiflich, da es noch nicht lange her ist, dass man in der Wissenschaft gelernt hat, in jeder Bewegung ohne Ausnahme Bezüglichkeit zu fremden Gebilden zu erkennen. Die nicht „Ungeometrischen" werden daher wohl noch lange zu thun haben, bis man das überall einsieht, denn es bestehen in den weitesten Kreisen noch die grössten, weit- und tiefgreifendsten Vorurtheile gerade bezüglich dieser Anschauung, worauf ich weiter unten zurückzukommen haben werde; für den Augenblick möge die Feststellung des Satzes XII genügen.

§. 22

Besondere Bedeutung der Kurvenrollung

Ehe wir zu der Aufgabenreihe übergehen, auf die die letzte Bemerkung anspielt, muss ich noch einmal auf das in §. 18 von mir angegebene Verfahren zurückkommen. Denn dasselbe schliesst noch einen tieferen Gedanken ein, als seine Bestimmung für das Zeichnen erwarten lässt, einen Gedanken, der herausgeschält zu werden verdient. Bemerkenswerth ist ja bei diesem Verfahren, dass es lehrt, aus einem und demselben Kreispaare eine ganze grosse Schaar von Cykloiden zu ermitteln, indem man Proportionaltheile des Schreibkreises von Punkten des ihn berührenden Kreises vor- oder rückwärts auf Schreibkreisbogen absticht. Dieses geometrische Verfahren lässt sich auch analytisch ausdrücken. Es bedeutet zunächst, dass man statt geradliniger und rechtwinkliger Koordinaten kreisförmige wählt, und zwar von der Art, dass die Abszissen auf einem festen Kreise gemessen werden und die Ordinaten auf einem zweiten Kreise vom Endpunkte der Abszissen aus, wobei die mit unveränderlichem Halbmesser beschriebenen kreisbogenförmigen Ordinaten die Abszissenlinie im Abszissenendpunkte berühren.

Fig. 88

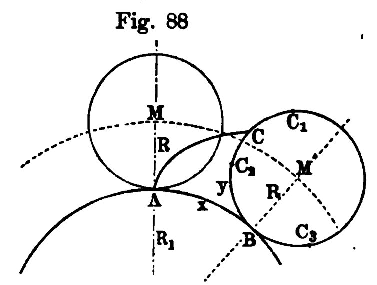


Fig. 88 stellt dies dar. Der Kreis R_1 ist die Abszissenlinie, A der Koordinatenanfang, B der Endpunkt der Abszisse x und Anfangspunkt der Ordinate y. Von B aus wird auf dem mit R

7*

als Halbmesser geschlagenen, in B die Abszissenlinie berührenden Bogen die Ordinate $BC = y$ aufgetragen; die Ordinaten werden von B nach C hin positiv gezählt. y kann gleich $AB = x$ sein, wie in der Figur angenommen, jedoch auch unter Umständen wie BC_1 grösser, oder wie BC_2 kleiner als AB, kann auch negativ sein wie BC_3. Unter allen diesen Umständen wird die Gleichung der Lage des Ordinaten-Endpunktes sein:

$$y = c + \beta x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

worin c ein gegebener Anfangswerth, der in Fig. 88 gleich Null und dabei β eine positive oder negative Zahl ist. Bei geradlinigen Parallelkoordinaten ist diese Formel die Gleichung der geraden Linie; hier, bei Zugrundelegung von Kreiskoordinaten ist sie die Gleichung der Cykloiden aller Gattungen. Je nach dem zu Grunde gelegten Abszissen- und Ordinatenkreise drückt sie Epi-, Hypo-, Peri-Orthocykloiden, Cykloorthoiden, aus, und zwar Randbahnen, wenn β = der Einheit, Innen- oder Aussenbahnen, wenn β von der Einheit verschieden ist.

Der merkwürdig einfachen Gleichung will ich keineswegs einen besonderen rechnerischen Werth, d. i. einen Werth für Ermittlung von Längen, Flächen, Krümmungsverhältnissen usw. der Cykloiden zuschreiben. Wollte man ihr diesen verleihen, so müsste man erst eine besondere Differentialrechnung für Kreiskoordinaten herstellen. Dagegen hat sie einen grossen begrifflichen Werth. Der ist, dass sie uns vor Augen führt: dass bei den Cykloiden einfache arithmetische Verhältnisse bestehen. Ist $\beta = 1$ und $c = 0$, d. i. liegt der Kurvenanfang im Koordinatenanfang, so ist

$$y = x,$$

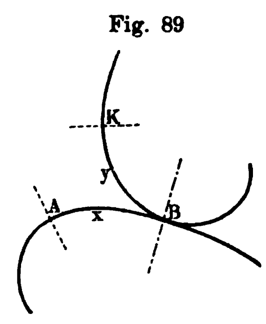
d. h. das arithmetische Verhältniss ist das der Gleichheit und das gilt für die ganze Schaar der Randbahnen. Bei den Aussen- und Innenbahnen tritt statt der Gleichheit ein festes arithmetisches Verhältniss ein. Wird $\beta = 0$, so gehen die Kurven in Breitenkreise, und wenn c von gewisser Grösse ist, in Mittelsbahnen über. Mit andern Worten: bei Zugrundelegung von Kreiskoordinaten sind die Cykloiden die Kurven von der grösstmöglichen Einfachheit; geringere, einfachere gibt es da nicht; sie sind in ihrem Entstehungsgedanken einfacher als die Kegelschnitte und sollten deshalb, nicht, wie bisher geschah, den angehenden Techniker



zurückschrecken. Das sich hier ergebende schlichte arithmetische Verhalten gibt auch sehr zu denken über die Behandlungsweise der Cykloiden in geometrischer Beziehung und erklärt, so zu sagen, die grosse Schlichtheit der Verhältnisse der Krümmungen, zu der wir uns oben, wenn auch nicht ohne Schwierigkeiten, durcharbeiten konnten. Was diese Einfachheit bedeutet, wird sofort einleuchtend, wenn man oben in Gleichung (29) nur einmal $\sqrt{x}$ oder x^2 usw. statt x eingesetzt denkt.

Aber noch zu etwas Anderem führt uns die angestellte Betrachtung. Erkennen wir die Rollung von Kreisen aufeinander als etwas verhältnissmässig Einfaches an, so wird dies auch in gewissem Maſse noch gelten, wenn statt zweier Kreise zwei beliebige Kurven unter Berührung in gegenseitiger Bewegung sind, wie wir von den Kurven AB und BK, Fig. 89, annehmen wollen. Jedenfalls wird auch hier die den Verhältnissen nach einfachste, schlichteste Bewegungsart diejenige sein, bei der die kleinsten Kurventheilchen, die sich nach und nach aufeinanderlegen und wieder trennen, stets gleich gross, demnach auch endliche, messbare Kurvenstücke AB und BK, deren Punkte K und A anfänglich zusammenlagen, gleich lang sind.

Fig. 89



Wählen wir hier die eine Kurve als Abszissenlinie und die andere als Ordinatenlinie, die unter Innehaltung der gedachten Bedingungen auf der Abszissenlinie vorrückt, so besteht zwischen den Kurvenstücken $AB = x$ und $BK = y$ ebenfalls die Gleichheit:

$$y = x$$

Die zur Bedingung gemachte Vorrückung gleicher Kurvenstücke und -stückchen ist aber das was man rollen nennt. So stellt sich denn die Rollung der beiden Kurven als die einfachste und schlichteste gegenseitige Bewegungsart derselben dar und wir verstehen, warum man seit etwa drei Jahrhunderten, seit Euler, der den Anstoss zu dieser allgemeinen Auffassung gab, bestrebt gewesen ist, die gegenseitige Bewegung starrer körperlicher Gebilde auf Rollung zurückzuführen, soweit dies angeht. Eigentlichen Fortgang hat freilich die Euler'sche Anregung erst in diesem Jahrhundert, vor allem, seit Poinsot*)

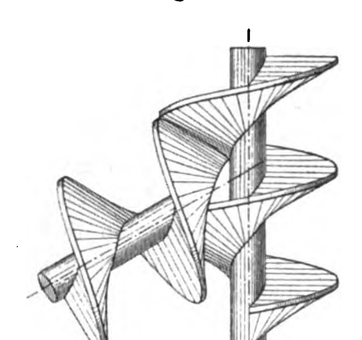
*) *Nouvelle Théorie de la rotation des corps* 1852 und *Théorie des cônes circulaires roulants*, Paris 1855.

die Phoronomie durch seine befruchtenden Arbeiten bereicherte, erfahren und ist dadurch in den Stand gelangt, höchst schwierige Aufgaben zu lösen, die anderen Auffassungsarten fast unüberwindliche Schwierigkeiten bereitet hatten.

Zugleich treten hier unsre Untersuchungen über die Cykloiden noch in ein neues Licht, indem für jeden Berührungspunkt der beiden obigen Kurven von den Krümmungskreisen alles das gilt, was wir für die Kreispaare, die den Cykloiden zu Grunde liegen, geltend fanden. Die Krümmungskreise der Punktbahnen, die Wendepunkte derselben, der tropische Verlauf, die Einbugverhältnisse, alles kommt für den Augenblick der Berührung zur Geltung; nur treten an die Stelle der Grund- und Rollkreise die beiden Krümmungskreise der aufeinander rollenden Kurven.

Die Rollung der Kurven haben wir oben, §. 19, als Rollungserscheinungen von Flächen, nämlich den Umflächen allgemeiner Cylinder und allgemeiner Kegel erkannt. Es gibt aber noch andere Flächen, die in gegenseitige Rollbewegung kommen können. Nämlich alle die Flächen, die aufeinander abwickelbar sind. Solche Flächen sind z. B. die Flächen von Regelschrauben, z. B. die Umflächen zweier gleichen Regelschraubenflächen, wenn sie, wie in Fig. 90 angedeutet, symmetrisch zu einander in Berührung gebracht werden. Auch gibt es Regelschraubenflächen, welche auf ebene Flächen abgewickelt werden können*); diese können mit den genannten ebenen Flächen reine Rollbewegung haben; auch gibt es Fälle, wo hyperboloidische Flächen mit Regelschraubenflächen das Verhältniss der Abwickelbarkeit haben, mit ihnen also reine Rollbewegungen eingehen können.

Fig. 90



Nicht alle höheren gegenseitigen Bewegungen starrer Gebilde lassen sich durch reine Rollbewegung ausdrücken. Indessen lassen sie sich mindestens auf solche Form zurückführen, bei welcher eine Rollbewegung so vor sich geht, dass gleichzeitig nur noch

*) Siehe oben erwähnten Aufsatz in den Berliner Verhandlungen 1878.

eine einzige andere Bewegung der beiden Axoide stattfindet, nämlich eine gegenseitige Gleitung der augenblicklichen Drehachsen. Ein Beispiel bieten die Flächen der Hyperboloide, welche als geometrische Grundkörper den sogenannten Hyperboloidrädern des Maschinenbauers (kurz Hyperbelräder genannt) zu Grunde liegen. Diese Bewegungsweise, welche in den Maschinen immerhin ziemlich selten vorkommt, habe ich das „Schroten“ zu nennen vorgeschlagen. Bei der Schrotung tritt dann die vereinfachende Besonderheit auf, dass zwar nicht die Kurven, welche in einem Berührungspunkte zusammentreffen, aber ihre Projektionen auf eine durch den Berührungspunkt gelegte Ebene, zu der die augenblickliche Drehachse lothrecht steht, aufeinander rollen. So lässt sich denn die Rollbewegung, wenigstens in der Form des Schrotens, selbst bei den verwickeltsten Bewegungsaufgaben zur Darstellung der Bewegungsvorgänge benutzen und liefert dann nach dem, was wir vorhin gefunden haben, die einfachste aller für den Fall angebbaren Vorstellungsformen.

Die einfachste Vorstellungsform enthält aber nicht immer zugleich die einfachste Rechnungsform. So bewegen sich z. B. die Planeten unter Drehung um ihre Achsen und unter gleichzeitiger Gleitung derselben in deren Richtung, d. i. also in schrotender Fortbewegung gegen das Sonnengebiet. Die Darstellung der aufeinander rollenden, zugleich gleitenden Regelflächen erleichtert aber die Berechnungen nicht, so dass wir hier an der Grenze der Nützlichkeit des Rollungsbegriffes stehen.

Noch muss ich hier gewisser anderer Grenzfälle gedenken, bei denen scheinbar das grosse allgemeine Gesetz der Rollung der Axoide oder deren Projektionen seine Geltung verliert. Aber nur scheinbar. Der erste Fall ist der, dass zwei ganz gleiche Drehkörper-Umflächen einander umschliessen, die eine die Hohlform der anderen ist. Hier aber haben wir Rollung zweier gleichen rein cylindrischen Axoide von dem Durchmesser Null vor uns. Beispiel cylindrischer Zapfen in seinem Lager.

Der zweite Fall liegt vor, wenn ein Hohlprisma ein genau gleich grosses Vollprisma umschliesst, wobei die beiden Umflächen aneinander entlang gleiten. Diese Gleitung zweier Prismen ineinander haben wir aber als eine Drehung der vorigen Art um eine unendlich ferne Achse anzusehen, sodass also auch hier Rollung von Cylindern vorliegt, die wir ohne weiteres als unendlich gross annehmen können.

Der dritte Fall ist der, wo eine Schraube von unveränderlicher Steigung von einer ihr gleichen Hohlschraube umschlossen ist, wie bei Schraube und Mutter. Hier gleiten die beiden geometrischen Achsen der Schraubengebilde unter Drehung aneinander entlang. Wir haben also den Grenzfall der Schrotung vor uns: Rollung unendlich dünner cylindrischer Axoide unter gleichzeitiger Gleitung derselben.

Auf diese drei Fälle, welche im Maschinenwesen eine sehr wichtige Rolle spielen, werde ich im zweiten Abschnitt zurückkommen. Wir kehren jetzt zu wichtigen Formen der cylindrischen Rollung zurück.

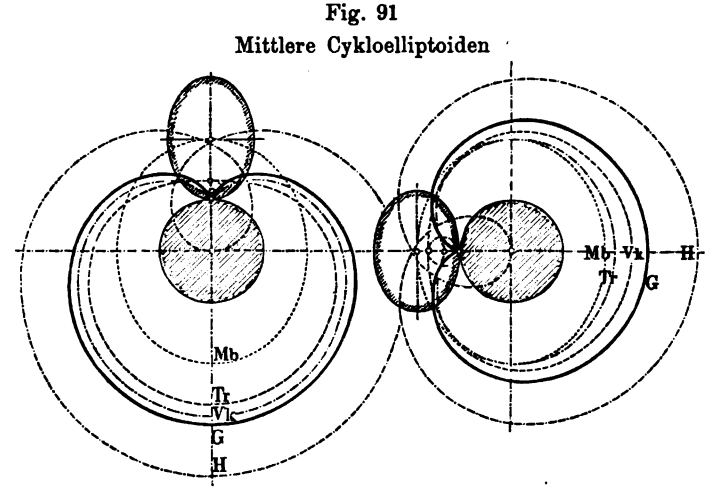
§. 23

Cykloelliptoiden und Elliptocykloiden

Haben wir weiter oben zuerst Kreis auf Kreis, dann Ellipse auf Ellipse rollen lassen, so können wir auch den dritten Fall betrachten, wo Kreis und Ellipse gegenseitig rollen. Die Fig. 91 bis 94 führen Beispiele vor. Es ist jedesmal angenommen, dass der Kreisumfang genau, sei es einmal, sei es mehrmal, in den

Fig. 91

Mittlere Cykloelliptoiden



Ellipsenumfang aufgehe, was niemals scharf, immer nur annähernd vorkommen könnte. Die entstehenden Rollzüge haben wir nach dem Bisherigen Cykloelliptoiden und Elliptocykloiden zu nennen. Fig. 91 stellt den Fall dar, wo eine Ellipse auf einem ihr an

Umfang gleichen Kreise rollt; die entstehenden Rollzüge sind verschieden, je nach dem der Umfangspunkt, der als beschreibender Punkt gilt, gewählt wird. Fig. 92 zeigt die Umkehrungen

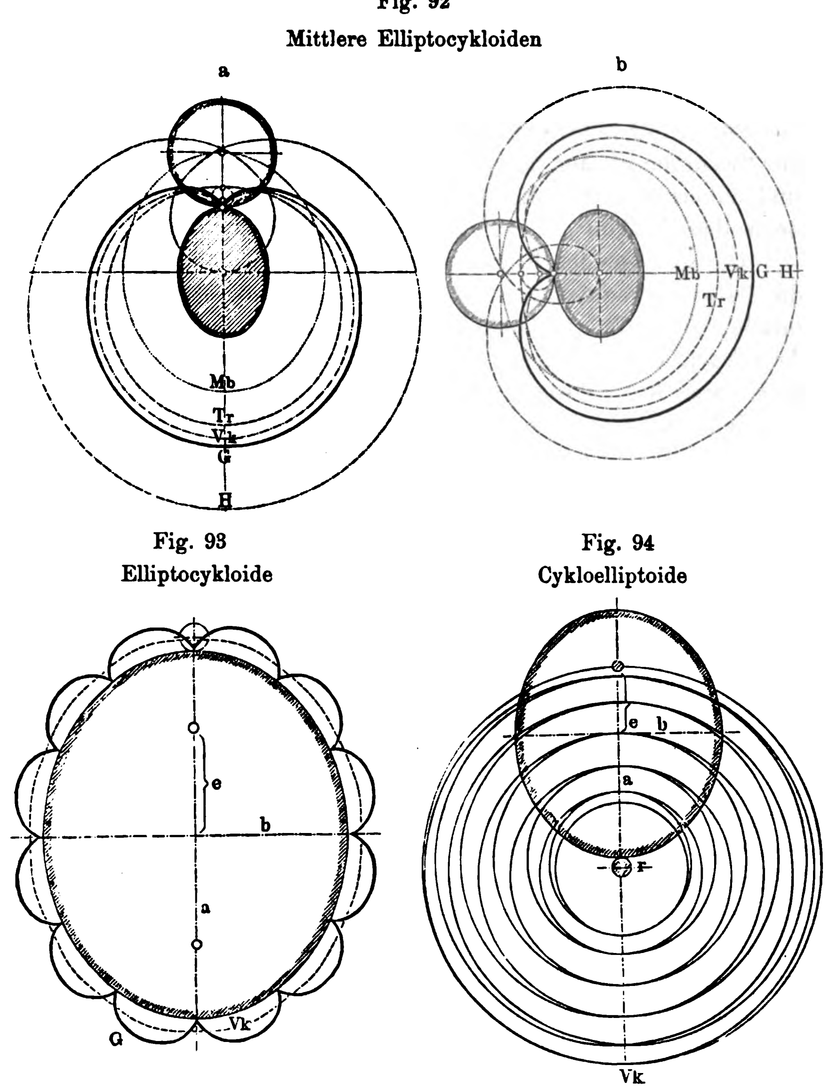


Fig. 92
Mittlere Elliptocykloiden

Fig. 93
Elliptocykloide

Fig. 94
Cykloelliptoide

der vorausgehenden Fälle. Alle vier Darstellungen sind zehnfach so grossen, sorgfältig ausgeführten Zeichnungen nachgebildet, welche, unter Benutzung des Farey'schen Ellipsenzirkels aus-

geführt, vor allem eine gute Vorstellung von den in Rede stehenden geometrischen Aufgaben zu geben bestimmt sind. Besonders bemerkenswerth aber und wichtig sind die beiden Fälle Fig. 93 und 94, wo der Kreis klein gegen die Ellipse ist. Hier ist angenommen, dass der Kreis 12 mal in die Ellipse aufgehe. Von den entstehenden Elliptocykloiden sind nur zwei Formen gezeichnet, die gemeine G und die verkürzte V_k, von den Cykloelliptoiden nur eine einzige Form, diejenige verkürzte V_k, welche ein Brennpunkt der Ellipse beschreibt. V_k hat hier 11 Knoten und nähert sich dem Kreise bis auf $a - e$ und entfernt sich von demselben bis auf $a + e$.

Die vorliegenden Kurven können nun dazu dienen, annähernd die Relativbewegungen darzustellen, welche zwischen einem kosmischen Zentralkörper und einem denselben umlaufenden Planeten, Trabanten oder Kometen stattfinden. Die Schiefe der Ekliptik wäre dabei Null *), die Bahnschnelle unveränderlich vorausgesetzt.

Was haben wir denn hier vor uns? Nichts Geringeres als die wissenschaftliche Antwort auf eine Frage, welche Jahrhunderte lang die Menschheit lebhaft beschäftigt hat, auf die Frage, wegen deren Galilei Gefängniss, Eideszwang, Verbannung zu erdulden hatte, die Frage, auf welche schon ein Jahrhundert früher Kopernikus eine Antwort gab, sie aber nur als Hypothese bezeichnete, dieselbe Frage endlich, welche Kepler mit seinen drei grossen Gesetzen so glänzend beantwortete und sich dadurch unvergänglichen Ruhm erwarb. Mit anderen Worten, unsere phoronomischen Betrachtungen haben uns zu einem der bemerkenswerthesten und wichtigsten Punkte der Kulturgeschichte geführt; daher war denn die Sorgfalt, die ich in der Entwicklung der Sätze festzuhalten gesucht habe, durchaus nothwendig.

Von der genannten Frage muss man sagen, dass sie selbst bis heute auch von den Gebildeten nicht mit der erwünschten Klarheit angeschaut wird. Heute weiss zwar jeder ehemalige Tertianer, dass Galileis Verfolger unrecht gehabt, oder er glaubt es doch zu wissen und pocht kühl und überlegen darauf bis in sein spätes Alter. Ja, hatten denn nicht Kopernikus, Kepler, Galilei recht und die Verfolger, einschliesslich kleiner Zelötlein unserer Tage, unrecht? jener Eiferer, die von der Herrlichkeit der Natur und deren unwandelbaren Gesetzen zwar keine Kenntniss haben,

*) Wie gemäss den Entdeckungen Schiaparellis es beispielsweise beim Merkur der Fall ist.

aber um so absprechender darüber urtheilen? Unsre Darstellungen zeigen es: beide Parteien hatten recht und beide unrecht, gleichviel, ob die verfolgende Partei die beschränkten Köpfe, die Unwissenden, die verfolgte die geistvollen, nach dem Lichte der Wahrheit strebenden edlen Denker in sich schloss. Der Planet bewegt sich geometrisch sowohl um die Sonne als die Sonne um den Planeten! Beide Anschauungen sind, sie widersprechen sich darin nicht, richtig; sie sind bloss die zwei Theile der Erkenntniss, welche aus der Beobachtung hervorgeht; beide Anschauungen sind wahr, nicht die eine „wahr" und die andere „scheinbar"; diese letzteren Bezeichnungen, so sehr sie durch den Gebrauch geheiligt scheinen, sind nur Namen, blosse Worte; sie drücken aber nicht aus, was sie ausdrücken sollen. Der oben aufgestellte phoronomische Grundsatz, den wir als unerschütterbar erkannten, entscheidet hier endgültig. Also eine geometrische Aufgabe, ein einfacher, logisch zu erörternder Satz, auf keiner der beiden gegnerischen Seiten völlig erfasst, eine geometrische Frage wegen Verlegung der Koordinaten war es, um den so heftig gestritten wurde, um den geistige Kämpfe von solcher Tragweite, so viel Erregung, so viel Leiden geführt wurden, ja bis heute noch nicht beendigt sind. Die Phoronomie ist es, die den Streit schlichtet und zwar mit voller Unparteilichkeit.

§. 24

Aeltere und neuere Schulauffassung

Die vorausgeschickten Beweise enthalten eigentlich schon alles Nöthige, indem sie klar ergeben, dass alle Bewegung, die wir kennen, Relativbewegung, bezügliche Bewegung, auf andere Raumgebiete bezogene Ortsveränderung ist, und dass demzufolge verschiedene Betrachtungen einer und derselben Bewegung möglich und berechtigt sind. Allein die fraglichen Anschauungen sind so wichtig, dass ich glaube, noch genauer auf die begonnene Begründung eingehen zu sollen. Wir sollten wissen von ihr; aber

> „wissen von dem, was man weiss, dass man es weiss, und von dem, was man nicht weiss, dass man es nicht weiss, das ist wahre Wissenschaft",

lehrt treffend ein morgenländischer Weiser. Dass der mechanische Techniker insbesondere an dieser wichtigen Stelle die Himmels-

mechanik näher kennen sollte, näher als viele Andere, liegt nach meiner Ueberzeugung in seiner Stellung als Kulturträger. Er steht mitten im Volk in dieses Wortes bester Bedeutung und hat daher den Beruf, die Unklarheiten, die ihm auf seinem Gebiete, sei es von oben, sei es von unten, entgegentreten, aufzulösen. Und dies kann ihm gelingen, weil er, und wenn er in den mathematischen Wissenschaften mitten inne steht, d. h. wenn er Mathematik, Mechanik, Physik oder Naturlehre überhaupt, wirklich wissenschaftlich betrieben und kennen gelernt hat.

Manche möchten den Maschinentechniker*) heute glauben machen, er habe jene Wissenschaften nur als Hülfsmittel anzusehen, habe sie nämlich nur so weit kennen zu lernen und zu üben, als er sie unmittelbar für sein Fach nützlich verwerthen könne. Erwerbsmittel sollen sie ihm sein, so bedeutet man ihn, nicht wie die bisherige Schule meinte, Erweiterung seines Gesichtskreises, Hebung seines Standpunktes, Stärkung der Durchdringungskraft seines Verstandes. Ganz beträchtlich verkürzt sollen die Lehrvorträge in den mathematischen Fächern werden, von ihren Wissenschaften nur „das Nöthige" gelehrt werden. Für solche, die durchaus höher hinaus wollen, kann man, so tröstet man, ja in die oberen Studienjahre besondere Kollegien einlegen; man vergisst, beizufügen, dass diese bei der späteren Fülle der praktischen Aufgaben und beim Herannahen der Staatsprüfungen nicht mehr besucht werden können.

Der bisherige Weg, der den deutschen technischen Hoch-Unterricht gross und vorbildlich gemacht hat, war der, den Jünger mit wirklicher wissenschaftlicher Erkenntniss auszurüsten und auch seiner Technik selbst jene wissenschaftliche Innerlichkeit zu verleihen, die den Gesichtskreis überall auflichtet und an ihm die Möglichkeit erkennen lässt, in neue Gebiete vorzudringen. Dass die „Anwendungen" der wissenschaftlichen Sätze dabei ebenso gut oder eigentlich noch weit besser gelingen, als bei der blossen Ausrüstung mit dem „Nöthigen", hat die Erfahrung bewiesen. Dieser Vertheidigung der bisherigen Lehrweise gegenüber schützt man Zeitmangel vor. Man sagt nämlich, die üblichen vier Studienjahre reichten nicht aus, um die „wissenschaftliche" Lehrweise durchzuführen, deshalb müsse man nothgedrungen die

*) Abgesehen vom Elektriker, der da recht gut weiss, wie sehr er auf die Wissenschaft fusst.



„praktische“ wählen. Dass das kein Grund sein dürfte, etwas Bewährtes zu verwerfen, ein hochstehendes Lehrwesen gegen ein weit tiefer stehendes auszutauschen, wird übersehen. Aber der Einwurf ist widerlegbar. Reicht die Zeit nicht aus, so ist etwas Anderes zu ändern, als der ganze Geist des Lehrwesens, so ist das eigentliche Lehrverfahren zu ändern, das was man die Methode nennt. Es ist ganz erstaunlich, was auf diesem Wege schon erreicht, was an Studienzeit auf diesem Wege schon gewonnen worden ist. Langsame, schwerflüssige Vorträge sind in den letzten Jahrzehnten durch rasche, lebendige ersetzt worden; Dinge, die früher Wochen erforderten, werden heute in Tagen erledigt. Aehnliches gilt ja auch vom Schulunterricht in den Sprachen. In den technischen Fächern liefert die Chemie die überzeugendsten Beispiele. Auf dem Wege der reinen, höchsten Wissenschaftlichkeit hat sie zunächst ihr Gebiet selbst in früher ungeahnter Weise erweitert, das ganze Fach auf eine glänzende Höhe gebracht, aber auch den Lehrgang trotz der Unmasse von Stoffzuwachs in der glücklichsten Weise vereinfacht und verkürzt.

Darf ich auf ein kleines Beispiel in diesem Buche verweisen, so ist es die Geometrie der Cykloiden. Es konnte vermöge Vereinfachungen, die einzig und allein auf wissenschaftlichem Wege erzielt wurden, auf etwa 60 Seiten eine Fülle von Stoff behandelt, so viel neues beigebracht, auch mit ganz schlichten mathematischen Mitteln behandelt, und dabei immer noch auf die geschichtlichen Vorausgänge verwiesen werden, dass zu alledem nach dem ehemaligen Verfahren ein ganzer Band erforderlich gewesen wäre. Also Verständigung über das Lehrverfahren, über Kürzung, Beschleunigung desselben ohne Verletzung der Wissenschaftlichkeit würde das Mittel gewesen sein, dem Zeitmangel abzuhelfen.

Die leitenden Behörden haben indessen, sicherlich nach reiflicher Ueberlegung, die Sache beschlossen: die Herabsetzung der Lehrstufe der Maschinentechniker in Deutschland ist nun erfolgt. Uns von der bisherigen Schule ist aber damit die Pflicht nicht erlassen, auf die mit dem Schritt verbundenen Folgen aufmerksam zu machen. Das „Maschinenentwerfen“, das man vor fünfzig Jahren grundsätzlich und scharf vom „Maschinenzeichnen“ abgetrennt und für sich ausgebildet hatte, ist wieder beseitigt, wieder auf das „Maschinenzeichnen“ zurückversetzt worden; natürlich geschah das unter Zuwendung der nöthigen Zeit und unter Verwendung besserer Vorlagen, die die grossartige Entwickelung

des Faches geliefert hat, aber es war ein grundsätzliches Zurückgehen auf die Stufe des „Vorbildes“. Ich habe vor längerer Zeit*) einmal dargelegt, dass im technischen Unterrichtswesen als einem Ganzen die drei Stufen:

Regel, Vorbild, Gesetz

zu unterscheiden seien. Auf der obersten Stufe, derjenigen des wissenschaftlichen Gesetzes, standen bisher in Deutschland in allen Fachrichtungen die technischen Hochschulen. Die mechanischen Abtheilungen derselben sind bei den neuesten Vorgängen, bei der Einführung des sogenannten praktischen Unterrichtes, wieder auf die Lehrstufe des Vorbildes, die man entsprechend auszubilden trachtet, zurückgegangen. Ich zeigte damals, dass zwischen den technischen Hochschulen und den Universitäten ein bestimmt angebbarer Unterschied bestehe, derjenige nämlich, dass die letzteren

die Wissenschaften des Erkennens,

die ersteren

die Wissenschaften des Schaffens

pflegten. Die mechanischen Abtheilungen der deutschen technischen Hochschulen, die sich der neuen Wandlung angeschlossen haben, scheinen nicht zu bemerken, dass sie nun eine wirkliche Wissenschaft des Schaffens nicht mehr treiben.

Sie erziehen vielmehr den ausgebildeten Maschinenzeichner, man wäre versucht zu sagen, eine Kaste desselben, mit festen straffen Regeln. Derselbe bildet sich auf der Hochschule nach guten Vorbildern aus und erlangt in Folge des angewandten Lehrverfahrens mit allen seinen Genossen eine gleichartige Fertigkeit im Maschinenzeichnen, eine Gleichartigkeit, die an Typenschrift erinnert und, wie diese, nicht mehr zu unterscheiden gestattet, wer die eine und andere Zeichnung angefertigt hat. Dies wird unter strammer, fester Leitung dadurch erreicht, dass jeder Studirende zuerst drei gedruckte Vorlagen, für Alle dieselben, zu pausen, also Punkt für Punkt, Strich für Strich, mit derselben messbar grossen Strichbreite, nachzubilden hat. Der Erfolg übersteigt die Erwartung, die Gleichartigkeit ist da.

Eine Zeit lang befriedigt dies das junge Gemüth, das des Livius und des Xenophon und Aristoteles müde von der Reife-

*) In einem Vortrage über „Kultur und Technik“ im niederösterreichischen Gewerbeverein am 14. November 1884.

prüfung kommt. Wie angenehm ist es doch, dass diese Art zu Zeichnen den weniger Befähigten gleich hoch stellt mit dem Begabtesten; sie ist ja auch gar nicht schwer zu erlernen, erfordert nicht die scharfen geistigen Anstrengungen, die, wie man erzählte, mit dem früheren Maschinenentwerfen (dem ein Jahr Uebung im Maschinenzeichnen vorausgieng) verbunden waren; es beansprucht in der That das Denken doch viel weniger; denn in dem Vorbilde spricht „eine gebildete Sprache, die für dich dichtet und denkt“ und führt zu dem angenehmen Glauben, dass etwas geleistet sei.

Noch eine andere starke Abweichung vom Bisherigen tritt alsdann ein. Das Arbeiten nach Verhältnisszahlen ist abgeschafft, gründlich beseitigt. Man fragt sich erstaunt, warum. Seit Kulturmenschen schaffen, bauen, gestalten, sind die Maſsverhältnisse der Gebilde ihnen von der hervorragendsten Wichtigkeit gewesen. In der Baukunst der ganzen Welt haben sie ihre tiefste Bedeutung und sind die Begleiter und Leiter der wirklichen Abmessung. In den architektonischen „Ordnungen“ sind die Verhältnisse die wesentlichsten Unterschiede, sind zugleich ein Merkmal, das weit wichtiger bezüglich der Wirkung ist, als die Abmessung selbst, wie uns überzeugend die altrömischen Bauten lehren, die die griechischen Formen übernahmen, aber das Verhältniss zur Menschengrösse veränderten. Romanische, gothische, Renaissance-Baukunst, Barock und Rokoko haben uns immer wieder gelehrt, welche Bedeutung und zugleich welche Vereinfachung des Schaffens in den Verhältnissen liegt. Kein Schinkel, kein Schirmer, kein Ungewitter, kein Haase, kein Klenze, kein Eisenlohr und kein Semper, auch keiner der Heutigen unter den Baukünstlern, der nicht in Verhältnissen geschaffen hätte oder schüfe. Und dann die Bildhauerkunst. Seit Jahrtausenden werden die Verhältnisse des menschlichen und thierischen Körpers zu erfassen, zu begreifen, wiederzugeben gesucht, wird in deren Kanon der Gegensatz zwischen den Schöpfungen verschiedener Meister wie Völker gefunden und erkannt. Und die Pflanzenwelt, welche Fülle von Wirkungen der Verhältnisse, die das sind, was aus Baum und Blume noch vor der Farbe auf uns wirkt*). Alles das zeigt die hohe Bedeutung der Verhältnisse

*) Eine neue, glänzende Bestätigung hierzu hat das Meurer'sche Werk „die Pflanzenformen“ (Dresden 1895) gegeben, dessen Erscheinen

für jegliche Formenschöpfung, einschliesslich der ganzen Kleinkunst, und diesen wunderbaren geistigen Massstab verwirft man? hat man verworfen?

Ja, jah! entgegnet man, wir Neuerer wollen ja auch keine Architekten, keine Bildhauer, Maler, Kleinkünstler, keine Naturforscher erziehen. Was gehen uns die an? Wir wollen Maschinentechniker bilden, die erhalten jetzt die ganze zivilisirte Welt, an denen hängt alles, das ist etwas ganz Anderes! die wollen wir bilden. — Gewiss, ganz wie ich oben gesagt habe: die Kaste der Maschinenzeichner wollen sie erziehen, was bedarf die des Zusammenhanges mit den übrigen gebildeten schöpferischen Kräften! Diese Maschinenzeichner sollen an das wirkliche gemessene Mafs, an die Mafse im Wandvorbild, an den Urmafsstab im Eichungsamt gefesselt sein; das ist ja zu verstehen: gefesselt, gebunden, eingeschränkt, formelfest, unfrei.

Wie ganz anders dachten wir bisher in den Hochschulen. Im Maschinenzeichnen mühte man sich, im Zusammenwirken mit der darstellenden Geometrie, dieser Theorie des gebundenen Zeichnens, sorgsam an der schwierigen Aufgabe, den Lernenden zu befähigen, in flachen, ebenen Bildern Körperliches darzustellen und zu sehen. Erfahrungsgemäss ist dies am wenigsten leicht zu erreichen bei den philologisch vorgebildeten ehemaligen Gymnasiasten. Durch Färbung und Schattirung suchte man die Vorstellung zu unterstützen. Das hatte auch seine wichtige praktische Seite; denn im Patentamt ist es vorgeschrieben, die Maschinenzeichnungen mit Strichen schattirt einzuliefern, ein Zeichenverfahren, das die Neuerer gar nicht mehr lehren lassen. Bei den schlichten Verwendungen von stoffunterscheidenden Farben wurde leise, ebenso wie bei den Verhältnissen, ohne Geräusch damit zu machen, der Geschmack und Sinn für das Schöne und Gefällige im Lernenden zu erwecken gesucht und dadurch die Sauberkeit des Arbeitens, das gesammte Können desselben gehoben. Jetzt sind die Farben beim Maschinenbau-Studirenden verpönt; sie lassen sich ja nicht im photographischen Blaudruck wiedergeben. Die schlichten Färbungen oder Farbentöne, welche die Baustoffe anzugeben hatten, waren zugleich eine pädagogische Brücke, die freundlich hinüberführte zum Archi-

---

Kultus- und Handelsministerium Preussens wirksam und verständnissvoll gefördert haben.

tekten und Bauingenieur. In den Formen der zu zeichnenden Maschinenbestandtheile wurde zielbewusst allmählich der mathematische Sinn der Lernenden auch dahin geleitet, dass manches durch Annäherung wiedergegeben werden müsse, wie z. B. Schraubengewinde durch gerade Linien, während die darstellende Geometrie doch gelehrt hatte, dass die Projektionen der Schraubenlinie Sinoiden seien. Jetzt wird das viel einfacher gemacht. Es wird gar keine Annäherung an die Schraubenlinie gezeichnet, sondern nur der Rand des Kerncylinders und der äussere Rand durch feste, gerade Linien ausgezogen, vielleicht die „Nummer" des Gewindes darangeschrieben, denn so macht man es in der Maschinenfabrik. Jene Gefühlsauffassungen von der erzieherischen Wirkung und Bedeutung eines guten Unterrichts im Zeichnen sind als veraltet bei Seite geschoben.

Im „Maschinenentwerfen" wurde darauf gerade durch die jetzt landesverwiesenen Verhältnisszahlen (deren sich übrigens alle maschinenbauenden Nationen bedienen und auch in Zukunft bedienen werden) das Auge des Lernenden zu bilden gesucht. An ihnen wurde er allmählich zu eigenem Urtheil, zu wachsender Freiheit des Schaffens, zur künftigen festen Männlichkeit erzogen. Wie dies sich dann später in seinen Schöpfungen offenbarte und je nach Karakter und Entwicklungsgang vollendete, konnten die früheren Lehrer mit Freude und Wärme beobachten. Und dieser freie Mann stand dem Architekten, dem Bauingenieur, dem Maler, dem Bildhauer, dem Naturforscher, aber auch dem Juristen und Mediziner auf gleicher Bildungshöhe nahe, im Urtheil, wie im Schaffen; er verstand sie und sie verstanden ihn, wenn anders die Ausbildungsaufgabe gelungen war.

Wie anders ist es doch in der neuen Form. Wie viel leichter ist sie ja zu lehren und zu lernen. Und führt doch diese leichtere Arbeit zu einem greifbaren und vorzeigbaren Ergebniss. Das besticht. Das muss eine Zeitlang gefallen. Auch den Empfängern, nämlich den Maschinenbauanstalten. Denn die Gleichmässigkeit der Vorbildung hat ihre Vorzüge für die Fabrik. Gewisse Dinge „können" die Eintretenden prächtig, können ihre Zeichnungen auch sogleich photographisch blaudrucken; denn das haben sie ja vortrefflich gelernt auf der hohen Schule.

Aber, es hängt ein Aber daran. Ich übergehe, dass die erwähnten Fertigkeiten und der betreffende Unterricht eigentlich Aufgaben der Gewerbeschulen sind, auch an solchen ganz ähn-

lich gehandhabt werden*). Ich meine etwas ganz Anderes. Nach einiger Zeit wird nach meiner Ueberzeugung der Mangel an Wissenschaftlichkeit der Ausbildung, der Mangel in der Entwicklung der geistigen Kräfte fühlbar werden, für den Einen, den Angestellten, darin, dass er nicht weiter rückt, für den Anderen, dass er nicht befördern kann, und dann wird der ganze Stand leiden, abgesehen davon, dass dieser jetzt schon in seinem Hochschulstudium von der obersten, der wissenschaftlichen Stufe, auf die zweite herabgestiegen ist und dadurch seine Stellung in der Gesellschaft beträchtlich verschoben hat. Für diese Art der Zurückweichung gilt der biblische Spruch nicht.

Aber noch in einem Dritten hat man sich, wie ich glaube, einem grossen Irrthum hingegeben, das ist in dem Geist der deutschen studirenden Jugend. Ich glaube nicht fehlzugehen, wenn ich annehme, dass in diesem über kurz oder lang ein Durst nach der Wissenschaft, das heisse Begehren nach dem wissenschaftlichen Gesetz, der unaufhaltbare Wunsch entbrennen wird, betheiligt zu werden, ausser an der Maschinenentwickelung, an den grossen Aufgaben, die die Naturwissenschaften von ihrem höheren Standpunkte aus kommen sehen und denen sie entgegeneilen. Dieses Begehren wird gewiss kommen; aber ihm gerecht zu werden, bedarf es eher einer Steigerung in der Wissenschaftlichkeit in Mathematik und Mechanik, als einer Herabstimmung auf das „Nöthige“. Ferrari war zu seiner wichtigen physikalisch-mechanischen Erfindung, die den heutigen Dynamomaschinen zu Grunde liegt, auf rein wissenschaftlichem, theoretischem Wege gelangt; ebenso Linde, der einstige Schüler des Züricher Polytechnikums, als er der erstaunten Technikerwelt seine in jeder Beziehung überraschende Luftverflüssigung vorlegte. Dieses und Anderes weiss oder erfährt doch bald die studirende Jugend, erfährt sie, wenn sie nach Schluss der Studien

*) Ganz solche Vorlagen wie die erwähnten gedruckten, die die Studirenden zu pausen bekommen, mit genau denselben grossen Mängeln in der zeichnerischen Behandlung, enthält z. B. Gust. Heinzel's hübsche „Vorschule für das Maschinenzeichnen, Vorlegeblätter zum Gebrauch an gewerblichen Fortbildungsschulen, allgemeinen Handwerkerschulen und Werkmeisterschulen“, Wien, Gräser, 1888. Da Nachahmung die stärkste Schmeichelei ist, so kann sich Herr Heinzel sehr geschmeichelt fühlen. Ihm ist übrigens ernst um seine Aufgabe, er hat mir 1888 das sehr gut ausgeführte Heft vorgelegt und meine Ansicht über dasselbe zu erfahren gewünscht, die ich auch ausführlich abgegeben habe.

in den öffentlichen Dienst oder in die Ingenieurvereine tritt; ihr nach einiger Zeit deshalb zu erwartendes Begehren nach Höherem wird nicht anders zu erfüllen sein, als wenn die Wissenschaft wieder gerufen, d. i. der Unterricht wieder auf die Stufe des wissenschaftlichen Gesetzes hinaufgehoben wird. Derselbe Ingenieurverein, der, durch den Sirenensang „Praktisch" befangen, denjenigen zugestimmt hat, die die Aenderung so dringend empfahlen, wird nach einiger Zeit seine Legionen von ihnen wiederbegehren; denn es wird auch in ihm wieder klar werden, dass hohe Schule und Praxis verschiedene Formen und Ziele haben müssen.

Sehr bemerkenswerth scheint mir, dass man gerade jetzt in anderen Ländern im mechanisch-technischen Unterricht Wege einschlägt, die den bei uns neuerdings betretenen gerade entgegengesetzt sind. Während man bei uns abwärts rückt, strebt man dort aufwärts. In Nordamerika, wo man sich aus ungeordneten Schulzuständen allmählich auf den obigen „praktischen" Unterricht heraufgearbeitet hatte, und zwar mit gutem Erfolg, will man nun voranschreiten zu der Stufe des völlig wissenschaftlichen Unterrichtes. Kinematische Sammlungen werden angeschafft. Vorlesungen über Kinematik überhaupt eingeführt, die einschlägigen Schriften eifrig studirt, Uebungen veranstaltet. An der Universität Lehigh in Pennsylvanien hat, um ein Beispiel anzuführen, der Lehrer dieses Faches für volle zwölf Bauarten des sogenannten Achsenregulators für Dampfmaschinen*) die genaue kinematische Analysirung und Aufsuchung aller Polbahnenpaare (vergl. unten §. 34) durchgeführt und stellt auf Grund dieser Analysen seinen Schülern Aufgaben, jedem eine andere (ganz wie in dem eingegangenen Maschinenentwerfen), daher dann die grosse Anzahl der erforderlichen Analysen.

In dem Londoner „Engineering" wurden jüngst**) „algebraische Kugelkettenlinien" besprochen; dabei ward auf die ausgezeichneten Arbeiten unsers Weyerstrass für die Ermöglichung der betreffenden Integrationen verwiesen. Zur Einleitung heisst es: „Die Bedeutung der höheren mathematischen Wissenschaft für die Behandlung praktischer Aufgaben in der Mechanik, Elektrizität und Thermodynamik wird Jahr für Jahr mehr erkannt, und das gegenwärtige Geschlecht der Ingenieure ist

*) S. m. Konstrukteur, unten bei Fig. 124 ff.
**) Unterm 19. Februar 1897.

deshalb besser vertraut mit den Verfahrungsweisen der Integralrechnung, als ihre Vorgänger jemals gewesen sind." So spricht man in England zu Ingenieuren von Ingenieuren des gegenwärtigen Geschlechts, in England, wo doch von jeher der Praxis die erste und vorderste Stellung eingeräumt wurde.

So steht denn im technischen Ausland die Wissenschaft hoch in Ehren; dasselbe gilt aber auch bei uns unverbrüchlich von der alten Schule, wie man sie jetzt zu nennen haben wird. Lehren uns doch die Programme und andere Schriften aus den Oberrealschulen, Werkmeisterschulen, Gewerbeschulen, dass ihre Lehrer die höheren wissenschaftlichen Ziele fest im Auge behalten, darunter nicht zum wenigsten die mechanischen Erscheinungen am Himmel, wenn sie sie auch unter der Halbmaske „Mechanisch-technische Plaudereien"*) auftreten lassen. Später wird, das dürfen wir hoffen, auch die jüngere Schule wieder Antheil an solchen, ihr heute fern liegenden Dingen nehmen. Ich gehe deshalb in der oben (S. 107) begonnenen, bezw. in Aussicht genommenen Beweisführung weiter.

§. 25

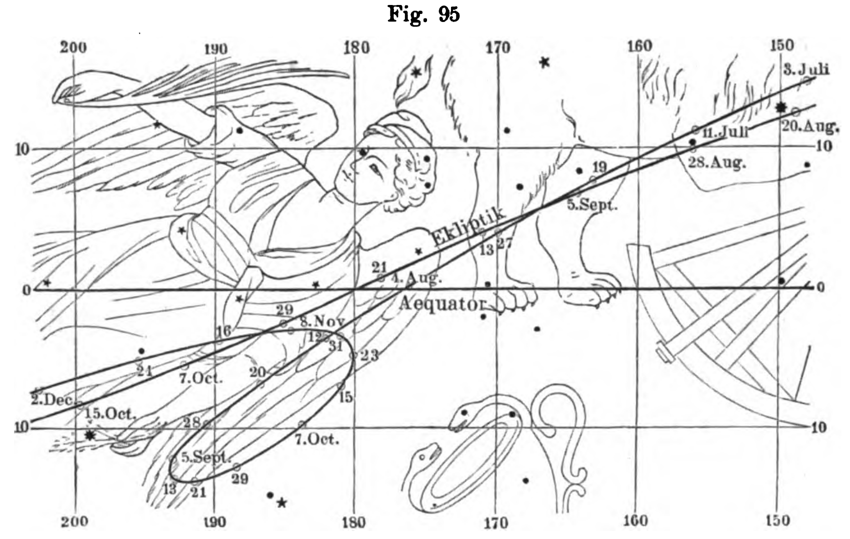
Die Planetenbewegungen

Was Fig. 93 und 94 für das Verständniss der Planetenläufe leisten, darf nicht unter-, aber auch nicht überschätzt werden. Man könnte leicht auf den Gedanken kommen, dass manche unsrer Planeten verlängerte Epikurven von der Form V_l in Fig. 70, 71 usw. beschrieben, mit deutlichen engen Schleifen, welche dann den alten Himmelsforschern Anlass zu ihrer Theorie von den „Epicyklen" gegeben hätten. Nun beobachteten die alten Sternkundigen allerdings ähnlich gestaltete Schleifenbewegungen, die z. B. an Venus und Merkur besonders deutlich werden. Fig. 95 stellt, um eine Anschauung zu geben, eine beobachtete und gemessene Schleife der Venusbahn aus dem Jahre 1847 dar. Aber diese Relativbewegungen der genannten Wandelsterne gegen uns entstehen nicht als Theile „verlängerter" Epikurven, sondern vermöge der Schiefe dieser Planeten gegen die Ekliptik. Gerade

*) Vergl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgänge 1889 und 1890, „auf Veranlassung der Redaktion geschrieben" steht darüber.

die schleifenreichen Bahnen der unteren Planeten (Venus und Merkur) sind, von der Erde aus gesehen, „verkürzte“, also schleifenlos verlaufende Linien, wie V_k in Fig. 5. Die oberen Planeten, d. h. die ausserhalb der Erdbahn die Sonne umkreisenden, beschreiben allerdings gegen uns „verlängerte“ Epikurven, also solche mit Schleifen; indessen diese letzteren sind so weit, dass sie sich der gröberen Beobachtung gänzlich entziehen, zumal die Erdbahn immer innerhalb derselben bleibt.

Fig. 95



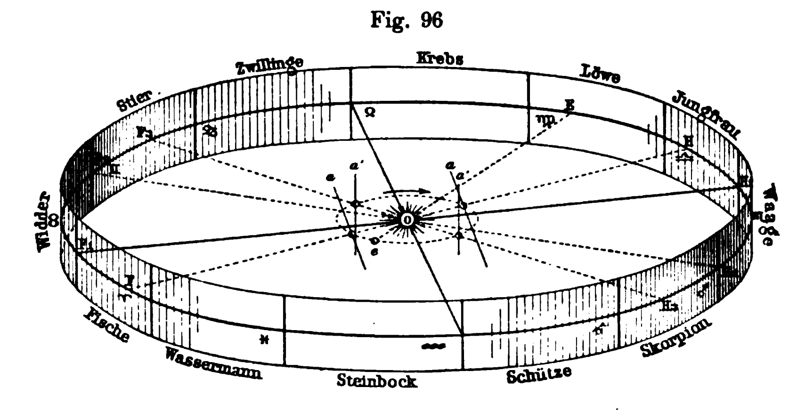
Wellenförmige, d. h. „verkürzte“ Epikurven, beschreibt auch der Mond um die Sonne, trotz der 100000 geographischen Meilen, die die irdische Mondbahn zum Durchmesser hat (S. 49). Die verkürzte Epi-Elliptocykloide V_k in Fig. 93 gibt eine annähernde Vorstellung von der Mondbahn *), abgesehen davon, dass die Erd-

*) Prof. Weyer in Kiel hat die feinen Aus- und Zurückbiegungen der Kurve V_k in einer Darstellung, die ich in der Zeitschr. der Deutschen Ingenieure veröffentlichte, nicht bemerkt, vielmehr, indem er die beigeschriebenen Buchstaben G und V_k übersah, rasch angenommen (Astr. Nachr. 1890, Oktober), ich hätte geglaubt, die Mondbahn habe die Form der gemeinen Kurve G, Fig. 93. Diese Kurve G ist nur die Randbahn des Kreises, in welchem der Mondmittelpunkt liegt, und dessen Mittelpunkt mit dem der Erde zusammenfällt. Die üblichen übertreibenden Darstellungen der Mondbahn, deren schon eine in dem schönen *Atlas novus coelestis* von Doppelmaier, 1742, zu finden, lassen die merkwürdige Eigenschaft der „Einbugigkeit“ der Bahn nicht erkennen. Ein Grund mehr, die Herstellung der Tafel am Schluss des Buches empfehlenswerth zu machen.

bahn eine weit weniger gedrückte Ellipse ist als die in der Figur dargestellte. Die weichen Ausbiegungen der Kurve, die man die Evektionen der Mondbahn nennt, bemerkte schon Ptolemäus. Unsre Figur ist aber viel zu klein, um die wellige Gestalt der Kurve V_k zur deutlichen Geltung kommen zu lassen; das war auf dem sehr grossen Vorbild sogar nicht besonders deutlich. In der Zeichnung, welche herauslegbar am Ende des Buches angeheftet ist, konnte eine sehr nahe den wahren Verhältnissen entsprechende Darstellung der Bahn des Mondmittelpunktes im Sonnensystem gegeben werden.

Die 11knotige Kurve V_k, welche der Brennpunkt der rollenden Ellipse gemäss Fig. 94 beschreibt, gibt eine übertreibende

Fig. 96



Vorstellung von dem Laufe der Sonne um einen Planeten, dessen Achse nicht schief steht. Dächte man sich dies bei der Erde als gegeben, so würde die Sonnenbahn mit ihren $365^1/_4$ Windungen in einem Ringe von rund 670000 Meilen Breite beschrieben.

Aber wir müssen bei der hochwichtigen Aufgabe noch genauer verfahren. Ein allgemeines Bild des Jahreslaufs der Erde im Sonnengebiet gibt, perspektivisch aufgefasst, vorstehende Fig. 96. Das Sonnengebiet stellen wir uns als einen Kreis, genannt Ekliptik, von unabsehbarem Halbmesser vor, innerhalb dessen die Erde e die Sonne O in einer Ellipse mit ihrem Mittelpunkt umläuft, während sie sich 1) zugleich um ihre Achse a täglich einmal, im Jahre rund $365^1/_4$ mal gleichförmig dreht, und während 2) diese Achse einen Winkel von rund $90 - 23^1/_2 = 66^1/_2{}^0$ mit der Ekliptik einschliesst. Um nun die Stellung der Erde im Jahreslauf angeben zu können, hat man die Ekliptik in 12 Ab-

schnitte von je 30° getheilt und denkt sich einen ringförmigen Gürtel von ungefähr 20° Breite an den Rand des ungeheuren Kreises gesetzt, auf welchen Ring die fernen Sterne, die noch hinter dem Gürtel liegen, sich wie auf eine Glasfläche abbilden und in Gruppen daselbst zusammentreten. Wir nennen diese bekanntlich die Sternbilder des Thierkreises, indem der Gürtel, etwas uneigentlich als Kreis bezeichnet, der Thierkreis genannt wird. Auch dieser Name ist nicht streng, da vier der Bilder, Zwillinge, Jungfrau, Wassermann und Schütze, menschliche Figuren bedeuten. Die Benennung lässt, nebenbei bemerkt, darauf schliessen, dass der ägyptisch-babylonische Bilderkreis, nach dem wir heute theilen, ein älteres, wirklich nur Thiere aufweisendes Vorbild hatte*). Die Namen unsrer Thierbilder sind der Fig. 96 beigeschrieben, folgen aber auch hier nebst ihren herkömmlichen Zeichen:

♈	♉	♊	♋	♌	♍
Widder	Stier	Zwillinge	Krebs	Löwe	Jungfrau
♎	♏	♐	♑	♒	♓
Waage	Skorpion	Schütze	Steinbock	Wassermann	Fische

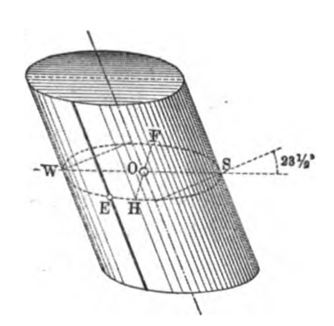
Um den Ort in der Ekliptik anzugeben, in dem sich die Erde im Jahreslauf befindet, zieht man üblicher Weise in Gedanken eine Gerade durch Erd- und Sonnenmitte, e und O, verlängert dann dieselbe, bis sie in E den Thierkreis trifft, und sagt nun die Sonne stehe in E, in unsrer Figur ist dies im Sternbild des Löwen, kürzer: im Löwen. Das ist ebenso dienlich, als wenn man sagen wollte, dem Löwen gegenüber. Wenn die Erdachse rechtwinklig zum Sonnenstrahle steht, wie in den beiden Stellungen a, Fig. 96, so sind Tag und Nacht gleich, indem sich die Belichtung der Erde genau von Pol zu Pol erstreckt. Die zugehörigen Standpunkte der Sonne im Thierkreis heissen Frühlingspunkt F und Herbstpunkt H; sie liegen in den Fischen und in der Jungfrau. Zwischen den Nachtgleichen liegen auf den beiden Theilen der Bahn die Sonnwendpunkte, die Sommersonnenwende in den Zwillingen, die Wintersonnenwende im Schützen; sie bedeuten die Stellungen der längsten und kürzesten Nacht.

*) Vergl. Reuleaux, „Ueber Sinnbilder und ihre kulturgeschichtliche Bedeutung“ in Westermanns Monatsheften 1897, Oktober und November.

Es ist nicht leicht, das aus einer Darstellung wie Fig. 96 herauszulesen, weil dieselbe von der Achsendrehung der Erde nichts enthält. Greifen wir deshalb zu einer anderen Darstellung.

Denkt man sich durch alle Punkte der Erdbahn, oder genauer noch durch alle Punkte einer innerhalb der Erdbahn sich an diese anschmiegende elliptische Figur, lauter Parallelen zur Erdachse gezogen, so hüllen diese einen elliptischen Cylinder ein, s. Fig. 97. Wenn wir dann um die Erdachse einen dünnen Cylinder gelegt denken, der den elliptischen Cylinder berührt, so kann man sich diesen so fortschreitend denken, dass er auf ihm rollt und zugleich stets so viel der Berührungslinie nachgleitet, dass der Erdmittelpunkt auf seiner elliptischen Bahn verbleibt. Das ist eine Bewegung von der Art, die wir oben das Schroten genannt haben. Die Verhältnisse wollen wir uns so gewählt denken, dass nach $365^1/_4$ Drehung des Erdachsencylinderchens die Anfangslage wieder erreicht sei. Unter diesen Umständen ist die Vorstellung brauchbar, wenn vorausgesetzt wird, dass der Erdmittelpunkt auf seiner Bahn gleichförmig fortschritte, während er in der That in der Sonnenferne langsamer als in der Sonnennähe voranschreitet. Wir wollen dies für den Augenblick vernachlässigen. Dann gibt uns Fig. 97 eine Uebersicht der Vorgänge. Aber noch mit zwei Mängeln. Der eine ist, dass wie oben (S. 103) hervorgehoben wurde, die Vorstellung vom Schroten nicht sehr sinnfällig ist, immerhin eine gewisse Anstrengung der Gedanken erfordert, der andere, dass nun zwar die Wanderung der Erde unter täglicher Drehung dargestellt ist, daneben aber die Stellung gegen den Thierkreis weggeblieben ist. Erst eine Vereinigung von Fig. 96 und 97 würde den zweiten Mangel heben, dagegen wieder neue Schwierigkeiten der Zeichnung zur Voraussetzung haben.

Fig. 97

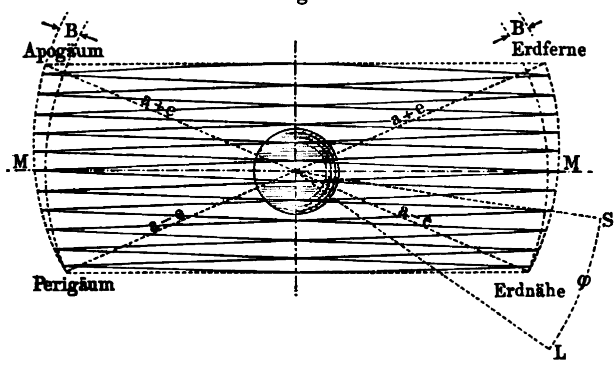


Es lässt sich aber etwas anderes aus Fig. 97 ableiten, nämlich eine Darstellung der Relativbewegung der Sonne gegen die Erde. Ist, vom Frühlingspunkt F herkommend, die Erde in der Sommersonnenwende S angelangt, so sieht man gemäss Fig. 97 den Sonnenmittelpunkt in einer Stellung, die $23^1/_2{}^0$ über dem

Aequator — Erd- wie Himmelsäquator — liegt. Im Herbstpunkt *H* steht, ebenso wie früher im Frühlingspunkt *F*, der Sonnenmittelpunkt genau im Aequator; stetig wandert er von der einen Lage in die andere. Ausserdem befindet er sich im Punkte *S* weiter ab von der Erde, als im Punkte *W*, im ersteren Falle nämlich in der Erdferne, dem Apogäum, im anderen in der Erdnähe, dem Perigäum. Ist a die grosse, b die kleine Halbachse der Erdbahnellipse, e der Abstand jedes ihrer Brennpunkte von der Mitte, so ist der Unterschied zwischen Erdferne und Erdnähe $= a + e - (a - e) = 2e$. Es ist derselbe Unterschied, der zwischen Sonnenferne oder Aphelium und Sonnennähe oder Perihelium der Erde besteht und in runder Zahl 670000 geographische Meilen beträgt.

Während die Darstellung Fig. 95 für einen Planeten mit nicht schiefer Achse galt und eine ebene Bahn des Mittelpunktes

Fig. 98



des Zentralkörpers als dessen Relativbahn zum Planeten ergeben hatte, steht hier die weit verwickeltere, nämlich im Raum liegende Bahn desselben Mittelpunktes bei schief stehender Planetenachse in Frage. Fig. 98 stellt mit einigen absichtlichen Uebertreibungen diese Relativbahn, oder, sowohl genauer als einfacher gesprochen, die Bahn des Sonnenmittelpunktes im Erdgebiet vor, während die schlichte Ellipse, die Fig. 96 uns perspektivisch zeigte, die Bahn des Erdmittelpunktes im Sonnengebiet darstellte. In unserer Figur ist so verfahren, als ob zwischen Frühlings- und Herbstpunkt nur 12 Erddrehungen statt deren $182^5/_8$ stattfänden; auch ist das Mass $B = 2e$ der Deutlichkeit halber doppelt so gross aufgetragen, als streng richtig wäre. Auch die Grösse des Erdballes ist ganz gewaltig über-

trieben, was aber bezüglich gewisser Messungen und Uebersichten sehr nützlich ist. Bei etwas Studium ist die kleine Erdgebietskarte sehr lehrreich.

Der obere Rand der Figur entspricht der Sommersonnenwende, also Ende Juni. Denkt man sich zum Strahl $a + e$ rechtwinklig eine gerade Linie durch die Erdmitte gezogen, so macht diese alsbald deutlich, dass zu der genannten Zeit das Gebiet innerhalb des nördlichen Polarkreises keine Nacht hat, während gleichzeitig innerhalb des südlichen Polarkreises kein Sonnenstrahl leuchtet. Denkt man sich bei 86° nördlicher Breite eine Tangente, und dann dazu eine Parallele durch die Erdmitte gezogen, so bekommt man ein unmittelbares Bild vom Sonnenlauf, den Nansen und seine tapfern Begleiter zu sehen bekamen, links die Hebung des Tagesgestirns zu Mittag, rechts seine Senkung, wo es immer noch weit vom Gesichtskreis abblieb. In unsrem Sommer bewegt sich die Sonne relativ zur Erde in der grösseren Ferne, dem Apogäum, in unsrem Winter dagegen, dem Sommer unsrer Gegenfüssler, in der Erdnähe, dem Perigäum. Der Mittelschnitt MM durch den Sphäroidgürtel gibt die Tag- und Nachtgleichen. Auf dem Gürtel läuft doppelschraubenartig die 365 Knoten zählende Relativbahn, eine sphäroidische Cykloelliptoide zu nennen, hin, welche der Sonnenmittelpunkt gegen die Erde beschreibt. Diese Schraubenwindung steigt in nahe 183 Umgängen niederwärts bis zur Wintersonnenwende, danach aber wieder aufwärts. Dicht aufeinander folgen die Windungen, durchschnittlich 15 Bogenminuten, d. i. nahe einen Sonnenhalbmesser, voneinander entfernt, unten und oben aber weit enger, in der Mitte bei MM etwas weiter auseinander stehend. In den erwähnten Ephemeriden werden die Winkel φ angegeben, welche das Loth L eines Erdortes mit dem Fahrstrahl S der Sonnenstellung zu verschiedenen Zeiten einschliesst.

Nach diesen Koordinaten, die nicht etwas bloss „Scheinbares“, sondern die wirkliche Relativbewegung des Sonnenmittelpunktes um die Erde vorstellen, richtet der Schiffer seine Fahrt im Weltmeere, ermittelt er seinen Kurs und hält diesen auch wirklich, nicht bloss „scheinbar“ inne, gelangt er wirklich, nicht bloss „scheinbar“ in seinem Bestimmungshafen an.

Man könnte auf unserm Kärtchen auch noch die Stellung der Sonne im Thierkreis angeben, wenigstens in der Hauptsache. Man hätte oben links mit den Fischen, Zeichen ♓ (s. S. 119)

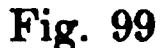
zu beginnen, käme herabsteigend durch ♈ und ♉ bei *M* zu den Zwillingen, ♊, dann weiter gehend durch ♋ und ♌ zur Jungfrau, ♍, am unteren Rande und hätte nun wieder hinaufzusteigen. Das könnte aber am rechten Rand angetragen werden, damit die Zeichen einander nicht störten. Unten rechts mit ♍ beginnend, stiege man durch ♎ und ♏ zum Schützen ♐ bei *M* und dann hinauf durch ♑ und ♒ wieder zu den Fischen am oberen Rand. Ich habe diese Nebenbezeichnung weggelassen, um die Figur nicht zu überfüllen.

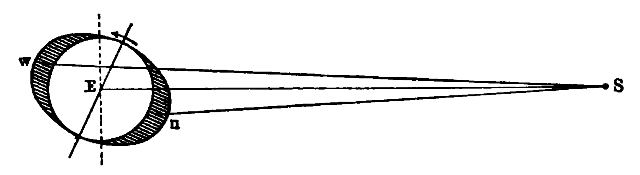
Denn das Wichtigere oder wohl Wichtigste an der Figur ist, dass sie uns lehren soll, in dem Worte „scheinbare Bewegung“ der Himmelskörper nicht einen Gegensatz zu „wahrer“ oder „wirklicher“ Bewegung zu erblicken. Es handelt sich beidemal um Relativbewegungen, bezügliche oder bezogene Bewegungen, bei denen wir ganz ausser Betracht lassen, dass unsre Sonne mit ihrem ganzen Gefolge sich mit grosser Schnelle durch das Raumgebiet unsrer Weltinsel bewegt. Im ersteren Falle, Fig. 96, handelt es sich um die Bewegung der Erde im Sonnengebiet, im zweiten Falle, Fig. 98, um die Bewegung der Sonne im Erdgebiet; beide sind geometrische Begriffsreihen, ihre Darstellungen sind phoronomische oder bewegungsgeometrische Vorführungen. Beide sind aber gleichberechtigt, wie beispielsweise die auf S. 7 dieses Buches unter Fig. 1a und 1c dargestellten Cykloiden zum selben Kreispaar. Hier erschwert nur die Bewegung im Raum ein wenig das Verständniss. Das darf uns aber nicht hindern, heute zu der Erkenntniss durchzudringen, dass es sich beidemal um dieselbe wirkliche gegenseitige Bewegung handelt.

Die zahllosen Berechnungen, die wir über Vorgänge in der Planetenwelt, über Sonnen- und Mondfinsternisse, über Durchgänge usw. anstellen, geschehen aus Beobachtungen aus dem Erdgebiet. Vereinzelte Messungen machen wir allerdings aus dem Sonnengebiet, diejenigen nämlich über Fixsternparallachsen, indem wir uns durch die Erde selbst an weit auseinander liegende Punkte der Erdbahn tragen lassen, an Punkte, die um 35 bis 40 Millionen Meilen von einander entfernt sind. Die überwiegende Mehrzahl der Messungen geschieht immerhin aus dem Erdgebiet nach dem Muster von Fig. 98. So haben aber auch die Alten schon recht sorgfältig gemessen. Unter anderm haben sie auch über die „Vorrückung der Nachtgleichen“ beachtens-

werthe Beobachtungen angestellt; Hipparch, der im zweiten Jahrhundert v. Chr. lebte, hat sie besprochen, vielleicht entdeckt. Dieser Erscheinung müssen wir noch näher treten.

Die Nachtgleichenlinie FH, Fig. 96, wandert langsam im Thierkreis und zwar schreitet sie in etwa $71^1/_2$ Jahr um einen Grad, d. i. in 2145 Jahren um ein Sternbild weiter. Seit dem Ende unsres ersten Jahrhunderts befindet sich der Frühlingspunkt F in den Fischen; um rund 2000 v. Chr. war er in den


Fig. 99

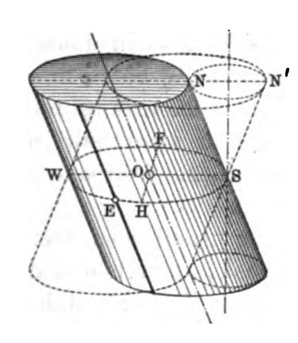


Widder getreten, und um etwa 4100 v. Chr. in den Stier; die Punkte F_3, F_2, F_1 deuten frühere Stellungen an. So langsam die Bewegung war, sie wurde doch vor mehr als 2000 Jahren schon bemerkt. Aber erst die neuere Himmelsmechanik hat sie erklärt. Sie entsteht in Folge der Anziehung der Sonne auf denjenigen Theil der Erdmasse, den die Fliehkraft einst über die reine Kugelgestalt hinausgeführt hat. Der der Sonne nähere Theil n dieses Gürtels, Fig. 90, wird stärker von ihr angezogen, als der weiter abstehende Theil w; der Unterschied der beiden Abstände beträgt rund $^1/_{12000}$, reicht aber aus für eine, zu den Zeiten der Sonnenwenden am stärksten wirkende Anziehung der Sonne, die die Erdachse aufzurichten strebt. Dieser Anziehung entgegen wirkt die Trägheit der sich drehenden Erdmasse, und zwar treffen die Verhältnisse so zusammen, dass zwar eine Aenderung der Lage der Erdachse entsteht, aber nicht im Sinne der Aufrichtung, sondern im Sinne einer Drehung um eine zur Ekliptik senkrecht durch die Erdmitte gehenden Geraden. Diese Bewegung wird an dem sogenannten Bohnenberger'schen Maschinchen und ebenso an dem Fessel'schen Kreisel durch den wissenschaftlichen Versuch ersichtlich gemacht.

Wir haben sie hier noch darstellbar zu machen. Unser zum Sonnengebiet gehöriges Axoid aus Fig. 97 verändert sich im Laufe der langen Umgangszeit der Nachtgleichenlinie, indem sich jede einzelne der durch die elliptische Leitlinie gehenden Kanten, unter Erhaltung des Winkels von $66^1/_2{}^0$ mit der Bahn-

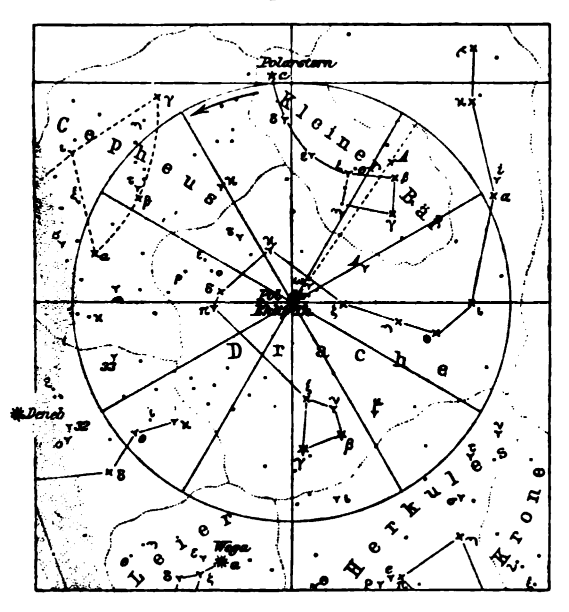
ebene, dreht; jede dieser Kanten beschreibt dabei einen Kegel, wie bei *SNN'* Fig. 100 angedeutet ist. Der halbe Umgang der

Fig. 100



Nachtgleichenlinie dauert rund 13 000, der ganze 26 000 Jahre, ein Zeitabschnitt, den man ein platonisches Jahr genannt hat. Sehr bemerkenswerth ist, dass die Richtung *SN* für uns, als diejenige der Erdachse, zum Nordpol am Himmel zeigt, dass demzufolge Nord- und Südpol am Himmelsgewölbe nicht fest stehen, sondern ihre Lage stetig ändern, und zwar im Laufe des erwähnten platonischen Jahres jeder einen Kreis von 47° Durchmesser am Sterngewölbe beschreiben. Das folgende Stückchen Himmelskarte stellt die kreisförmige Bahn, die unser Nordpol vom heuti-

Fig. 101



gen Polarstern im kleinen Bären ab durchlaufen wird, dar. Jeder der 12 gleichen Kreisausschnitte entspricht der Wanderung der Nachtgleichenlinie durch ein Sternbild. Vor 4300 Jahren stand der Nordpol im Stern α des Drachen, nach etwa

12000 Jahren wird er in der Nähe der Wega, des hellsten Sternes in der Leyer, eines der hellsten des Himmels, gelangt sein. Unsre Darstellung Fig. 100 gibt nur die beiden Axoide der betrachteten Relativbewegung, dazu das eine, dem Sonnengebiet angehörige und als ein zeitweilig, nicht als ein dauernd gültiges. In Bezug auf die Nachtgleichenbewegung hat sich ein Gegensatz der Meinungen wie bei der Planetenbewegung nicht eingestellt, da die Sache zu schwierig ist, um ausserhalb der Fach- und Technikerkreise befochten zu werden. Das war ungleich leichter bei der Planetenbewegung.

Ich muss hier noch anfügen, dass in der praktischen Sternkunde der Gebrauch besteht, nicht anzugeben, in welchem der zwölf Sternbilder die Sonne zu irgend einer Zeit des Jahres steht, sondern die Zählung vom Widder aus immer im Frühlingspunkt zu beginnen. Die Zeichenfolge ist dann die alte: ♈ ♉ ♊ usw. und die Dauer der Gültigkeit jedes Zeichens ist 30°. Angenehm für die Anschauung des gestirnten Himmels ist das nicht gerade, aber wir müssen uns fügen. In Fig. 96 sind die Zeichen in der gedachten, auf den Sternwarten üblichen Weise eingetragen.

Der Fehler, der zunächst gemacht wird, indem man die Bewegung der Wandelsterne im Sonnengebiet für wahr, die der Sonne im Erdgebiet für nur scheinbar, für nicht wahr, also für gar nicht geschehend hält, beruht auf der Verwechslung von Geometrie und Mechanik. Man hält nicht auseinander — wie man thun sollte — was die, sich vor unsern Augen vollziehende Ortsveränderung ist, die wir Bewegung nennen, und was das ist, was sie verursacht. So mächtig sind die mechanischen Vorstellungen bei uns, bei den atlantischen Völkern, geworden, und zwar in den letzten zwei Jahrhunderten geworden, dass wir Gewalt auf unser Denken ausüben müssen, um Geometrie und Mechanik auseinander zu halten. Den „ursächlichen Zusammenhang der Bewegungen“, den ich S. 1 erwähnte, kannte man von den Himmelskörpern vor dem Ende des 17. Jahrhunderts nicht, obwohl man schon so manches von deren Bewegungen selbst durch immer besser werdende Beobachtungen kennen gelernt hatte. Man muss sich nur zurückversetzen in die Zeiten, in denen niemand daran dachte, den Gestirnen Masse, oder wie wir so einfach sagen, Schwere, beizumessen, um sich nicht zu wundern, dass man sie geistig belebte und ihnen Einfluss auf die Menschengeschicke zuschrieb.

Man dachte aber doch viel nach über die Gestirnbewegungen. Es geschah indessen wesentlich nur in jener gestaltgebenden, zu grossartigen Bildern neigenden Naturauffassung der damaligen Zeiten. Man liess statt der scharfen verstandesmässigen Schlüsse geistige Anschauungen walten, die grossartig das Ganze umfassten oder doch umfassen wollten. Daher denn auch die formschöne Anschauung von der „Harmonie der Sphären“, von einer in die Sternenwelt hineingedichteten Symmetrie und anschaubaren Schönheit, eine Anschauung, die durch das Mittelalter hindurch bis zu Kepler hinauf den astronomischen Forschergeist beherrschte und — verdunkelte. Der baconische Gedanke von der Prüfung jeder induzirten Theorie durch den Versuch wurde zu Keplers Zeiten eben erst wach.

Man „setzte“, wie man es nannte, Ansichten, die man mit einem ganzen Gerüst schulmässiger Vernunft-Schlüsse umgab, in die Weltanschauung hinein, nicht etwa probeweis eingeführte Annahmen, die man dann, wie wir heute thun, sorgfältig von aussen, von allen Seiten her auf ihre Tauglichkeit untersuchte — das „Induktionsverfahren“ —, sondern Sätze, deren Richtigkeit man von innen heraus glaubte fest bewiesen, oder doch fest gestützt zu haben, indem man sich auf ältere Schulen, auf die Bibel, auf alte, bedingungslos als wahr angenommene Sätze berief. Man besass nicht, man berief sich bloss.

Wenn daher der französische Philosoph Comte († 1857) behauptet, die Weltsysteme der älteren, vorkopernikanischen Himmelsforscher seien logisch als richtig zu bezeichnen, weil sie jeweilig den Stand des Wissens über ihren Gegenstand ausgedrückt hätten, so darf man ihm darin nicht beipflichten. Denn es handelte sich eben nicht um den Stand des Wissens, sondern um denjenigen der in die Welt hineingespiegelten Auffassungen, die auf falsch und sehr oberflächlich gedeuteten Beobachtungen fussten. Wir hier besitzen übrigens in den vorhin behandelten Sätzen ein wirklich brauchbares Mittel, die alten Systeme zu prüfen.

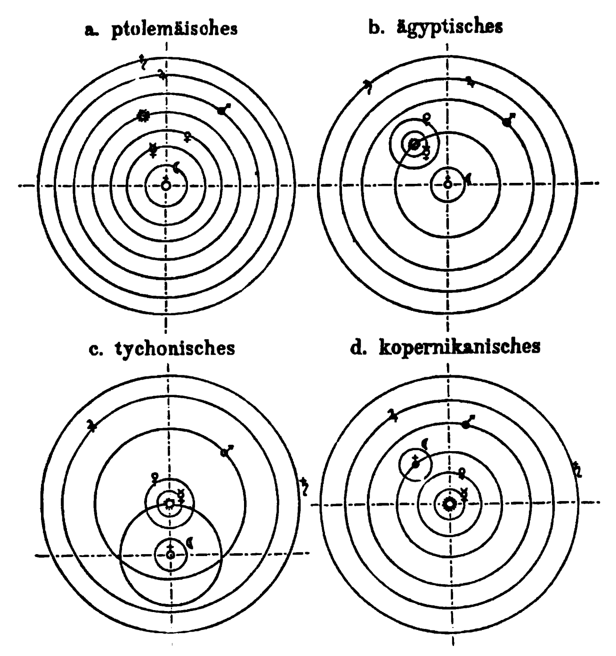
Es wird kein zu grosser Sprung sein, hierbei von einem blossen Paare beweglicher Gebilde, wie wir solche bisher allein behandelt haben, gleich zu einer Mehrheit von solchen überzugehen.

Das sogenannte ptolemäische System (2. Jahrh. u. Z.), in Fig. 102 a dargestellt, setzte die Erde in die Mitte unsres Gebietes

und liess Mond, Merkur, Venus, Sonne usw. Kreise um sie beschreiben. Dieses System ist falsch, weil es den ersten vorurtheilsfreien Beobachtungen, namentlich von Merkur und Venus, widerspricht. Das zweite, sogenannte ägyptische System, Fig. 102 b, lässt Mond, Sonne und die oberen Planeten um die Erde, zugleich aber Merkur und Venus um die Sonne kreisen. Es betritt also zunächst den nicht unrichtigen Weg, die eine der vielen mög-

Fig. 102

Planetensysteme



⊙ Sonne, ☾ Mond, ☿ Merkur, ♀ Venus, ♁ Erde, ♂ Mars, ♃ Jupiter, ♄ Saturn.

lichen Darstellungen zu Grunde zu legen, wonach die Relativbewegungen der betrachteten Gestirne gegen die Erde aufzuzeigen sind. Das System ist unrichtig 1) in betreff der Bahnformen, 2) in der Annahme, dass dabei die oberen Planeten um die Erde als Zentralkörper liefen, und 3) in der Deutung der Bahnschleifen als verlängerter Epicykloiden, „Epicykel", wie wir oben S. 117 besprochen haben. Das dritte System, das tychonische, Fig. 102c, hält den berechtigten Gedanken fest, das Koordinatensystem frei

zu wählen, und legt dasselbe fest zur Erde*), macht auch richtig die Sonne zum Zentralkörper für die oberen Planeten, hält aber unrichtigerweise alle Umlaufbahnen für Kreise. Unrichtig verfuhr man aber auch später, als die Urtheile sich geklärt hatten, indem man es ohne weiteres für „falsch“ erklärte. Es ist phoronomisch, geometrisch, völlig richtig. Es besagt ja gar nichts von der mechanischen Verursachung der Bewegungen der Planeten; es stellt nur geometrisch deren Relativbewegungen zum Erdgebiet dar, zeigt ähnlich wie unsere Fig. 98 auf ihre Weise thut, was vor sich geht, wenn man die Darstellung davon im Erdgebiet vornimmt. Wenn Mädler in seinem lehrreichen „Wunderbau des Himmels“ über Tycho voll Hohn den Stab bricht, weil der annehme, die Sonne beschreibe Schraubengänge um die Erde**), so vermischt er wieder Mechanik mit Geometrie, Verursachung der Bewegungen mit deren Erscheinungsform; er vermischt Himmelsmechanik, die damals noch nicht bekannt war, mit den von Tycho aus dem Erdgebiet heraus vorgenommenen phoronomischen Darlegungen. Die Relativbewegung der Sonne in Schraubengängen auf einem Sphäroid haben wir oben, Fig. 98, vorgefunden. Tycho de Brahe müssen wir für seine, für jene Zeit ausgezeichnet genauen Beobachtungen — sie füllen vierundzwanzig Folianten***) —, die es Kepler ermöglichten, ohne Kenntniss der Himmelsmechanik das Gesetz der Flächen und das der elliptischen Bahnen der Planeten im Sonnengebiet zu ermitteln, dauernd tief dankbar sein; Mädlers Spott hat er sicherlich nicht verdient.

Das kopernikanische System, Fig. 102d, wählt endlich die berechtigte und sehr zweckmässige Form, die Relativbewegungen zu einer im Sonnengebiet fest angenommenen Ebene darzustellen, irrt aber ebenso wie das tychonische bezüglich der kreisförmigen Bahnen. Kopernikus fand also ebenfalls ohne Kenntniss der Himmelsmechanik die zweite der beiden, die Bewegung von Erde und Sonne wiedergebenden Darstellungen. Die Fehler, die er in

---

*) So muss man annehmen, nicht aber, wie Einzelne meinen, dass Tycho ein Koordinatensystem in der Ekliptikebene mit der durch Sonne und Erde gehenden Hauptachse gewählt habe, da er bei Berufung Keplers nach Prag ausdrücklich wünscht, dieser möge den „Epicykel“ des Mars in Beziehung auf die Sonnenbahn als „Deferens“ suchen.

**) Achte Auflage, her. v. Klein, S. 46.

***) S. Prowe, Nicolaus Coppernicus, Berlin 1883, I, S. 46.

Betreff der Bahnformen machte, waren beträchtlich. Seine Beobachtungsgeräthe waren indessen auch sehr unvollkommen *). Auch legte er seinen Berechnungen nur eine kleine Zahl von Beobachtungen zu Grunde, nämlich ausser einigen alten griechischen und arabischen nur 27 eigene. Die beiden ersten hatte er 1497 in Bologna und Rom angestellt, alle übrigen von 1609 bis 1629 in Frauenburg. Aus diesen Umständen erklärt sich wohl, dass er in Uebereinstimmung mit allen seinen Vorgängern kreisförmige statt elliptischer Planetenbahnen fand. Aber Kopernikus war vorzugsweise Philosoph und als solcher unbefriedigt von den herrschenden Anschauungen. Sein Buch von den „Umläufen der Weltkörper" widmete er dem Papst Paul III., ein Zeichen, dass damals der Hass der römischen Priesterschaft gegen die Wissenschaft noch nicht erwacht war, dem im folgenden Jahrhundert Galilei zum Opfer fiel.

Es muss nachdrücklich hervorgehoben werden, dass die letzteren beiden Darstellungsformen, die tychonische und die kopernikanische, bezüglich der Wiedergabe der zu schildernden Bewegungsgesetze ganz gleichwerthig sind, beide gleich richtig, beide gleich verkehrt (wegen der Kreisbahnen), beide aber auch gleich berechtigt. Ihre Berechtigungen sind genau ebenso gleich gross, so lange es sich bloss um die Darstellung der stattfindenden Bewegung handelt, wie diejenige der Kreisevolvente oder Cykloorthoide neben der Orthocykloide, oder der Hypocykloide neben der Pericykloide. Ja es lassen sich noch mehr hier völlig gleichberechtigte Systeme aufstellen, nämlich solche, welche die Relativbewegungen zu irgend einem der Planeten, zum Jupiter, zum Uranus usw. darstellen, vorausgesetzt, dass man deren eigene Umlaufzeiten genügend genau bekannt annimmt. Auch in diesen Systemen liesse sich die wirklich stattfindende

---

*) Das wichtigste derselben, das sogenannte Triquetrum, war was wir ein 45er Winkelbrett nennen würden. Kopernikus hatte es eigenhändig aus Fichtenholz gefertigt. Die Schenkelstäbe waren gemäss ptolemäischer Vorschrift 4 Ellen lang und in 1000 Theile getheilt, der dritte Stab in $\sqrt{2}$ mal 1000, d. i. 1414 solche Theile; die Theilstriche waren mit Dinte aufgezeichnet. Auch die beiden anderen Hauptgeräthe, das *instrumentum parallacticum* und das *quadrum* waren aus Holz von Kopernikus selbst hergestellt. Das Triquetrum, das in Frauenburg bis 40 Jahre nach Kopernikus' Tode aufbewahrt wurde, erlangte dann Tycho, der es hocherfreut seiner Sammlung einfügte; mit dieser gieng es leider nach der Schlacht am weissen Berge zu Grunde.

Bewegung genau darstellen. Den Vorzug, welchen wir der einen, anderen, dritten, vierten Darstellungsweise einräumen, liegt ganz und gar in unsrer Wahl. Die spätere, ungerechte Heftigkeit, mit der die sorgfältigen tychonischen Arbeiten für falsch, die kopernikanischen für allein richtig erklärt wurden, rührt davon her, dass man den Begriff von der relativen Bewegung nicht kannte und dass deshalb Vorurtheil mit Vorurtheil kämpfte, bekanntlich zwei gleich erbitterte Gegner.

Als Kepler in die Theorien eingriff, berichtigte er zuerst den Fehler wegen der bis dahin vorausgesetzten Gleichförmigkeit der Bewegungen, dann den wegen der Bahnform, indem er aus den Messungen nachwies, dass die Bahnen der Planeten um die Sonne Ellipsen seien. Diese Verbesserung passte aber genau so gut auf das tychonische wie auf das kopernikanische System. Auch waren Keplers und Tychos Beobachtungen doch rein aus dem tychonischen Systeme vorgenommen, alle Messungen aus einem mit der Erde fest verbundenen Koordinatensystem. Die neueren Methoden, aus dem kopernikanischen Systeme zu beobachten, die wir manchmal anwenden, indem wir, wie oben S. 123 erwähnt, Messungen aus verschiedenen Punkten der Erdbahn, also aus verschiedenen Jahreszeiten, zusammenfügen, waren damals noch unbekannt. Als drittes Gesetz wies Kepler das der Umlaufszeiten nach.

Was Kepler betrieb und seine Vorgänger betrieben hatten, war — das liegt jetzt klar vor uns — Aufsuchung der Bewegungsgesetze der Himmelskörper insbesondere und einzig in geometrischer Beziehung, d. h. Bewegungsgeometrie oder Phoronomie! Die ganze alte Himmelsforschung, soweit sie sich rein wissenschaftlich verhielt, war Phoronomie, reine Untersuchung der „Bewegung als Erscheinung“.

Dies muss man festhalten, um die Gedankenentwicklung zu verstehen. Die Gestirne, welchen früher das Astrolabium, die Alhidade, das Triquetrum, das Quadrum usw. und zu Tycho de Brahes und Keplers Zeiten das eben erfundene Fernrohr folgten, hatten für die Beobachter keine Masse, kein Gewicht; sie waren nur leuchtende Punkte, Scheibchen, oder auch sphärische Gebilde; mechanische Eigenschaften wie irdischen Körpern ihnen zuzuschreiben, lag fern. Wie ungemein gross aber treten uns in diesem Lichte die Leistungen Keplers entgegen, wenn wir sie gerade als Ergebnisse rein phoronomischer Forschung erkennen. Das Gesetz

der Flächen kann auch von beliebigen anderen, nicht elliptischen Bahnen gelten, elliptische Bahnen können auch mit unveränderlicher Schnelle durchlaufen werden, die Verhältnisse der Umlaufszeiten folgen nicht phoronomisch aus den beiden ersten Gesetzen; alle drei musste Kepler einzeln finden. Dass dies volle zehn Jahre erforderte, kann nicht Wunder nehmen. Kepler musste durch „Einführung“ oder Induktion zum Ziele zu gelangen suchen, da die analytische Geometrie zu seiner Zeit noch nicht entwickelt war; nicht weniger als achtzehn Kurven, zuletzt die Ellipse, setzte er ein, um die Marsbahn mit den Beobachtungen zum Stimmen zu bringen. Jahre mussten auf diese Weise vergehen von Fund zu Fund. Dass aber die drei Gesetze Ausfluss eines höheren anderen Gesetzes seien, konnte auf phoronomischem Wege nicht ermittelt werden. Solches geschah erst viele, viele Jahre nach Keplers Hingang, geschah durch die Wissenschaft der Mechanik.

Isaac Newton, in der Gelehrtenwelt Neutonius genannt, daher deutsch Neuton, erblickte erst zwölf Jahre nach Keplers Tode, 1642, das Licht der Welt. 1670 trat er mit seiner Theorie der allgemeinen Schwere hervor und brachte dadurch auf einmal Körperlichkeit in die Welt der Gestirne. Aber die Uebertragung der auf der Erde durch den Versuch festgestellten Schwerkraftgesetze auf den Mond wollte nicht gelingen. Zwölf Jahre giengen dahin, da lieferte Picards neue Gradmessung das Zutreffen der neuen Theorie auch zu Keplers drittem Gesetz, und nun erwiesen sich alle drei Gesetze als Ausfluss der neuen grossen mechanischen Theorie. Man darf gewiss nicht sagen, dass dies Kepler etwas raubte; man muss eher sagen, dass es sein Verdienst noch ganz bedeutend erhöht hat. Denn ohne die Kenntniss, die Keplers Gesetze von den Planetenbewegungen geliefert hatten, war die Bestätigung der jungen Lehre von der allgemeinen Schwere nicht möglich. Ohne Kepler kein Neuton! Nun erst war emporgewachsen, was Galilei im Beginn des Jahrhunderts, dieses für die Wissenschaften so glanzvollen siebzehnten Jahrhunderts, ausgesät, und zu welchem Prachtbaum, der heute noch immer weiter herrlich wächst und gedeiht! Haben wir gesehen, was man bis zu Galilei und Neuton ohne die Mechanik vermochte, wie die Geometrie nicht nur die herrschende, sondern auch die fruchtreichste mathematische Wissenschaft war, so muss uns heute um so bestimmter klar sein, dass wir zu scheiden haben, was

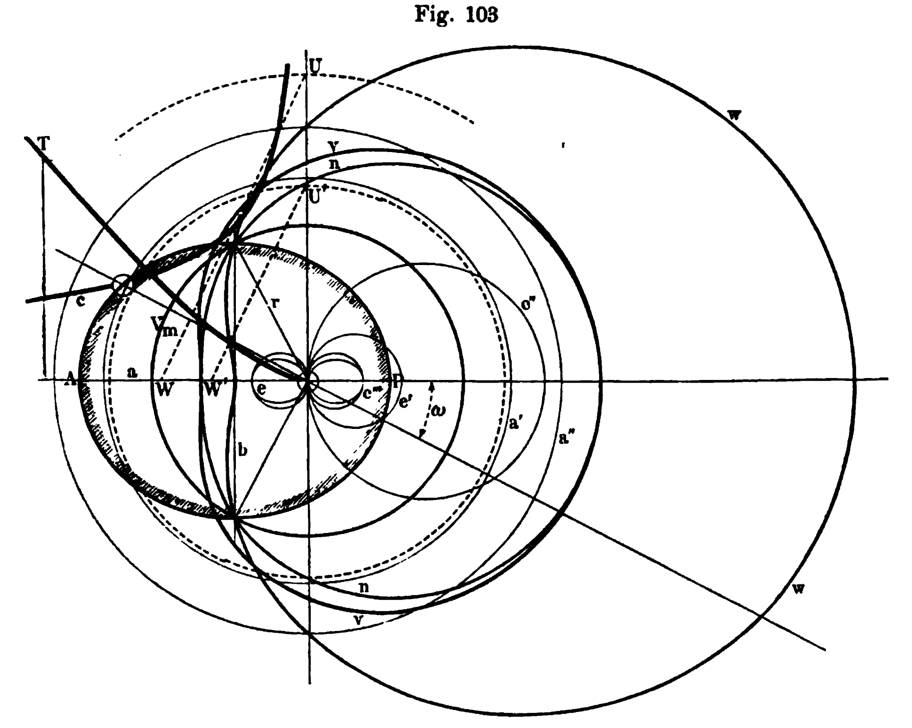
Geometrie und was Mechanik ist, wie ich im Vorausgehenden an so vielen Punkten zu thun versucht habe. Als Glanzleistung der Geometrie noch durch ferne Jahrhunderte stehen die Keplerschen Gesetze da. Auf sie muss ich noch einmal zurückkommen.

§. 26

Geometrische Darstellung der Keplerschen Gesetze

Bei den obigen Untersuchungen über die Relativbewegung der Sonne im Erdgebiet habe ich eine Vernachlässigung begangen, auf die ich um der Sicherheit der Darstellungen willen

Fig. 103



noch einmal zurückkommen muss. Ich nahm beim Aufbau der Fig. 98 vorläufig an, dass der Erdmittelpunkt auf seiner elliptischen Bahn gleichförmig fortschreite. Diese Annahme war

statthaft bezüglich der allgemeinen Form der relativen Sonnenbahn; worin sie aber eine Lücke liess, das war die Art des Verlaufs der Sonnenbahn auf dem Sphäroid. Um die grössere Schärfe zu ermöglichen, überhaupt bei dieser Gelegenheit die Keplerschen Gesetze gleichsam sichtbar zu machen, lasse ich hier in Fig. 103 (a. v. S.) eine geometrische Darstellung der Keplerschen Gesetze folgen, deren ich mich in meinen Vorlesungen über Kinematik bei Besprechung der phoronomischen Lehrsätze bedient habe; es ist mir nicht bekannt, ob eine solche anderweit schon gegeben worden ist. Indem die eingetragene Ellipse das zweite Gesetz darstellt und beim Drehwinkel ω die Fahrstrahlen $\varrho = (a^2 - e^2) : (a + e \cos \omega)$ aufweist, ist das erste Gesetz durch drei Kurven ausgedrückt, die Kurve n, welche die Normalschnellen n, die Kurve v, welche die Umfangsschnellen v, und die Kurve w, welche die Winkelschnellen w für die Werthe von ω darstellt. Es ist $n = a' + e' \cos \omega$, und $w = a'' + e'' \cos \omega + e''' \cos \omega^2$, wobei $a' = a : (1 - \varepsilon^2)$, $e' = e : (1 - \varepsilon^2)$, ferner $a'' = a : (1 - \varepsilon^2)^2$, $e'' = 2e : (1 - \varepsilon^2)^2$, $e''' = \varepsilon e : (1 - \varepsilon^2)^2$ und $\varepsilon = e : a$ ist. Ich nenne die Geschwindigkeits- oder Schnelligkeitskurven hier, wie schon früher (S. 29), Fahrtkurven oder auch Veloziden. Die Fahrtkurve n ist eine um a' erweiterte, d. h. in ihrem Fahrstrahl um a' linear vergrösserte Polarsinoide vom Parameter e', insbesondere hier eine um a' „verlängerte“ Perikardioide vom Grundkreisdurchmesser e'. Die Fahrtkurve w ist eine um die Konstante a'' und die Veränderliche e''' erweiterte Polarsinoide vom Parameter e''; das dritte Glied stellt für sich eine Polarsinoide zweiten (positiven) Grades vor.

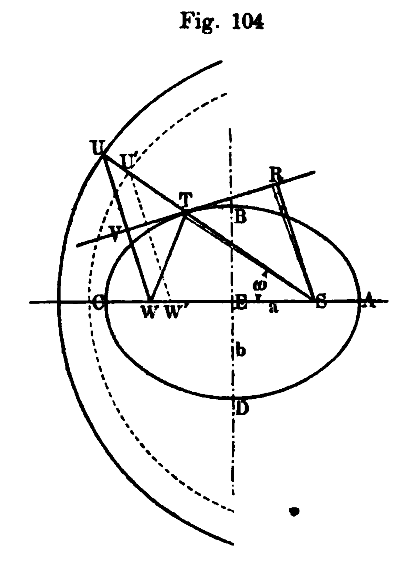
Die Fahrtkurve v lässt sich mit Hülfe des schönen Hamiltonschen Satzes, der hier folgen möge, ermitteln. $ABCD$, Fig. 104, sei die elliptische Mittelsbahn eines Planeten, W und S seien die Brennpunkte, in deren letzterem S die Sonnengebietsmitte liege. Zieht man nun nach einem Umfangspunkte T die Fahrstrahlen ST und WT und verlängert ST um $TU = TW$, sodass also $SU = 2CE = 2a$, so ist die Verbindungsgerade UW proportional der Umfangsschnelle bei T und senkrecht zu deren Richtung. Denn, da VT den Winkel WTU halbirt, liegt Punkt V in der Tangente zum Elemente T. Fällt man nun aus S das Loth SR auf die Tangente, so ist nach dem ersten Keplerschen Gesetz $\frac{1}{2} SR \cdot v = \frac{1}{2} ST \cdot v \sin STR = q$, wenn q die Fläche bedeutet, die der Fahrstrahl in der Zeiteinheit

durchläuft. Da nun ausserdem die aus den Brennpunkten auf eine Tangente gefällten Lothe zum Produkt das Quadrat der kleinen Halbachse haben *), also $RS \,.\, VW = b^2$ ist, so hat man:

$$v = \frac{2q}{SR} = \frac{2q}{b^2} VW = \frac{q}{b^2} WU \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

in Worten: WU ist proportional v. Beschreibt man also mit der langen Achse $2a$ um S einen Kreis und verbindet einen Radiusendpunkt U mit W, so ist in UW eine der Schnelle v proportionale Grösse gefunden, für welche gilt:

Fig. 104

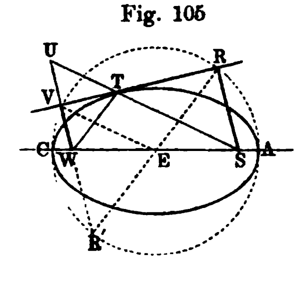


$$WU = mv = \sqrt{(4a^2 + 4e^2 - 8ae\cos\omega)} \quad . \quad . \quad (31)$$

Eine Parallele $U'W'$ zur UW liefert in dem Abstand ihrer Einschnittspunkte mit ST und SW eine zweite, der Schnelle v proportionale Grösse. Trägt man diese jedesmal von S aus auf den Fahrstrahlen der Ellipse auf, so erhält man, was wir suchten, eine Velozide oder Fahrtkurve, die die Umlaufschnelle darstellt. In Fig. 104 ist die Verkleinerung $U'W' : UW$ so gewählt, dass bei $\omega = 0$ und 180^0 die Umlaufschnelle mit der Normalschnelle denselben Grössenausdruck erhält. In der That werden ja auch diese beiden Schnellen bei Sonnenferne und Sonnennähe einander gleich.

Die nach Parallelkoordinaten aufgetragene Kurve c hat die Gleichung $c^2 r' =$ Konst. Sie ist eine kubische Hyperbel (vergl.

Fig. 105



*) *R und V liegen in einem aus E mit a beschriebenen Kreise, Fig. 105, da $VU = VW$ und $WE = ES$, also $EV = \frac{1}{2} SU = a$. Verlängert man die VW und RE bis zu ihrem Schnitt R', so ist WR' wegen Kongruenz der Dreiecke gleich RS, somit VR' eine Sehne, die den Durchmesser CA stets im selben Punkte schneidet, sodass $WR' \,.\, WV = SR \,.\, WV = CW \,.\, WA = b^2$.*

meinen Aufsatz über Umlaufmesser oder Gyrometer, Berl. Verh. 1876, S. 345) und stellt die mittleren Umlaufschnellen verschiedener Planeten von den mittleren Sonnenabständen r' dar; dazu gibt die Kurve T von der Keplerschen Gleichung $T^2 = Kr^3$ die Umlaufzeiten in ihren Ordinaten. Letztere Kurve ist eine semikubische oder Neilsche Parabel. Die Unterschiede der Fahrstrahlen von v und w in Sonnennähe P (Perihel) und Sonnenferne A (Aphel) sind namentlich bei den Kometen bedeutend.

§. 27

Allgemeine Betrachtungen über die Bewegung der Himmelskörper

Eines durften wir bei den phoronomischen Betrachtungen unsres Planetensystems nicht vergessen. Es ist, dass wir dabei nicht Bewegung im Raum an sich, Raum als Allbegriff, sondern bloss solche im „Raumgebiet“ vor uns haben, also dass wir gegenseitige, bezogene, „relative“ Bewegung betrachten, gleichviel ob wir das Raumgebiet Erde, oder das Raumgebiet Sonnensystem, kürzer das Sonnengebiet, zum Ausgang nehmen, wie Kopernikus that. In unsrem Planetenfeld führt uns dieses letztere Verfahren am einfachsten zum Ziel. Dieses Raumgebiet haben wir auch „mit der Messruthe durchzogen“ bis in kaum fassbare Fernen, wie z. B. die, in welche Donatis Komet seit 1857 durch ein Jahrtausend entflieht, 6000 Millionen Meilen weit, von wo sein Licht 40 Stunden bis zu uns gebraucht, wohin es entflieht, um dann doch wieder der Anziehung der Sonne nachgeben zu müssen und in einem zweiten Jahrtausend zur Sonne zurückzukehren, genau wie der in die Höhe geworfene Ball zum Stillstand gelangt und umkehrt zur Erde, die ihn mit Uebermacht heranzieht.

Es lehren aber nun die astronomischen Beobachtungen, dass auch unser Sonnengebiet sich fortbewegt, mit einer Schnelle von wahrscheinlich über 7 Meilen in der Sekunde, indem es sich vielleicht, wie man wahrscheinlich gemacht hat, um den Stern Alkyone im Stier dreht, und zwar (nach Mädler) einmal in $22^1/_2$ Mill. Jahren. Da die Laufschnelle der Erde im Sonnengebiet im

Mittel 4 Meilen beträgt, so erkennt man, wie entschieden man an dem Gedanken festzuhalten hat, dass wir von unsren Planeten nur Relativbewegungen kennen. Die erwähnte Drehung findet statt in dem linsenförmigen, zu Ringen geordneten Weltsystem, das wir in unsrem Sternenzelte um uns erblicken und dessen Rand wir die Milchstrasse nennen. Von der Grösse dieser Gestirngruppe können wir uns nur dadurch eine, wenn auch nur schwache Vorstellung bilden, dass wir, wie vorhin beim Donati, zu den Strecken greifen, die der Lichtstrahl mit seiner achtfachen Blitzschnelle*) in einem gegebenen Zeitmaſs durchläuft. Dieser aber braucht von dem einen Milchstrassenrande zum andern gegen 8000 Jahre**). So ungeheuer, so schwer für unser Denken ermessbar ist das Raumgebiet, mit dem wir hier phoronomisch rechnen. Was wir hierbei thun, ist, dass wir Koordinatenebenen, die in diesem Raumgebiete ihren Ort unverändert festhalten, in dasselbe hineinlegen und die Beziehungen der Gestirnsörter auf diese Koordinatenebenen angeben, wobei denn für unser Planetenfeld die obigen $22^1/_2$ Millionen Jahre Drehzeit herauskommen.

Aehnlicher Weltinseln, wie die unsrige, gibt es aber viele, wohl Tausende, die wir als Nebelflecke sehen, auch in jüngster Zeit durch die Lichtbildkunst etwas näher als früher kennen zu lernen begonnen haben. Weit, unaussprechlich weit, liegen die Weltinseln auseinander; aber überall herrscht Bewegung, insbesondere herrscht Drehung. Denn andernfalls hätte die Körperanziehung die Massen zusammengeführt und geballt, wie sie auch wohl vielemal schon gethan haben mag, um im Zusammenstoss wieder gewaltige Wärmeentwicklung, Schmelzung, Vergasung, neue Streuung und damit neue Schöpfungen entstehen zu lassen. Die Drehung ist es also, was die Weltinseln erhält. Drehung, Bewegung überall, und bei jeder neuen, behaupteten Drehung ein anderes, ihr zu unterliegendes Raumgebiet mit Koordinaten-Ebenen und -Achsen.

---

*) Ich beabsichtige keineswegs, mit dieser Vergleichung zwischen der Schnelle des Drahtstromes und des Lichtes das alte „blitzschnell“ zu bekritteln. Die Blitzschnelle beurtheilen wir nach deren Aufnahme durch unsre Sehnerven, die ja nicht sehr schnell leiten, aber vom Blitz gerade die Lichterscheinung melden; so meint denn eigentlich unser „blitzschnell“ lichtschnell.

**) Vergl. (Klein-) Mädlers Wunderbau des Weltalls, 8. Aufl. Nachtrag, 1885, §. 231.

So führt uns denn jeder Schritt im Raume nur immer zu neuen Schritten, immer neuem Raumgebiet, niemals zum Raumall, demnach auch niemals zur wirklichen Bewegung, sondern stets nur zur Bewegung im Raumgebiet. Mit anderen Worten: Alle Bewegung ist für uns Relativbewegung.

Das innere Wesen aller phoronomischen Untersuchung muss hiernach die Verständlichmachung der Relativbewegung sein. Dies wurde auch in dem Vorausgehenden festgehalten und durchzuführen gesucht, auch deshalb in §. 21 von der alten Annahme von dem „ruhenden" Kreise der Cykloide zu der lebendigen Anschauung übergegangen, dass nur die gegenseitige Bewegung der beiden Kreise gemeint ist, was dann aber keineswegs erschwerend, sondern im Gegentheil erleichternd, vereinfachend für die Behandlung der Aufgaben gewirkt hat.

Einen kurzen Rückblick dürfen wir jetzt noch werfen auf die Berührung zwischen der Phoronomie und der Mechanik, nachdem wir die Trennungslinie bestimmt haben. Die wissenschaftliche Mechanik im heutigen Sinne ward durch Galilei im Anfang des 17. Jahrhunderts begründet*) und machte bald rasche Fortschritte, welche durch die Errungenschaften der Bewegungsgeometrie nicht wenig beschleunigt wurden. Ein halbes Jahrhundert war nach Keplers Tode vergangen, als Neuton nachwies, dass die Planeten in Folge der allgemeinen Schwere ihre Bewegungen so vollziehen, wie Kepler ermittelt. Das war der grösste Schritt, den die Mechanik gethan, ja überhaupt die Naturerkenntniss bis heute vollzogen hat. Hatte Kepler für das engere Gebiet unsres Sonnensystems die lange gesuchte Klarheit verschafft, so setzte Neutons Gesetz der allgemeinen Schwere das ganze Weltall in ein neues wissenschaftliches Licht, welches auf einmal ungezählte Meilenmilliarden hinausleuchtete und wunderbar befruchtend auf die Wissenschaften der Menschen zurückgestrahlt hat.

*) Wer schärfere Zeitangaben vorzieht, könnte vielleicht von 1599 sprechen, dem Jahre, in welchem Galilei unsrer „Orthocykloide", die damals der beliebteste Forschungsgegenstand der Geometer war, den Namen „Cyclois" gab, den er aus dem alten „epicyclos" ableitete.

Hier aber erkennen wir zugleich den Unterschied zwischen Bewegungsgeometrie und Mechanik; gerade hier, wo beide eine und dieselbe gewaltige Forschungsaufgabe behandelten. Phoronomie und Mechanik beschäftigen sich beide mit den Bewegungen, die Phoronomie mit den geometrischen, den messenden Gesetzen der Bewegungen, die Mechanik aber mit dem ursächlichen Zusammenhang der Bewegungen, zwei Untersuchungen, welche auf ganz verschiedenen Gebieten liegen, auch ganz verschiedene Tragweite haben, aber wegen der Gemeinsamkeit des Gegenstandes leicht vermengt werden konnten. Nie vermochte und nie vermag die Bewegungsgeometrie den ursächlichen Zusammenhang der Bewegungen, welche sie darzustellen unternimmt, anzugeben; durchaus treffend ist sie also, wie wir sehen, als die Wissenschaft von der Bewegung „als Erscheinung“ erklärt worden. Andrerseits hat sie sich gerade bei der in Rede stehenden Aufgabe als unentbehrliche Hülfswissenschaft, als eine trefflich befähigte Helferin der Mechanik erwiesen. Die allgemeine Schwere war nicht zu finden, sie wäre nicht gefunden worden, ohne die vorausgängige grosse Vorarbeit der Phoronomie. Dafür aber lohnte auch wieder die Mechanik durch den Nachweis von der Verursachung, vom ursächlichen Zusammenhang der Bewegungen. Phoronomisch betrachtet sind, nicht bloss scheinbar, sondern wirklich, die gegenseitigen Bewegungen der Himmelskörper höchst mannigfach; bald sind ihre Mittelsbahnen elliptisch, bald cykloidisch, bald elliptocykloidisch, bald cyklo-elliptoidisch oder von nahe verwandter Form; mechanisch betrachtet dagegen umschwingen die Planeten elliptisch, oder, noch allgemeiner, in Kegelschnitten, die Zentralgebilde, mit oder ohne selbsteigene Drehung des umkreisenden wie des umkreisten Körpers. Die streitende Laienwelt vermengt in verzeihlichem Unverständniss die beiden wissenschaftlichen Anschauungen. Wir hier haben gefunden, dass sie genau auseinander gehalten werden müssen, dass aber durch diese Sonderung keine von beiden etwas einbüsst, sondern beide nur an Verständlichkeit ihrer grossartigen Leistungen gewinnen. Parteinahme für die eine oder andere Beobachtungsform, die vor Jahrhunderten begreiflich war, ist nicht mehr an der Zeit, sondern freudige Antheilnahme an den Ergebnissen der Forschung. Denn diese fördert unter mühevoller und entsagender Arbeit immer nur die Erkenntnis von der grossen und wunderbaren Gesetzmässigkeit in der Schöpfung.

Zwanglauflehre oder Kinematik

§. 28

Sonderung der Kinematik von der allgemeinen Mechanik

Im vorigen Abschnitt haben wir wiederholt gefunden, dass Geometrie und Mechanik mannigfach verwechselt worden sind und dass man da, wo sie zugleich auftreten oder aufzutreten scheinen, wohlthut, ihre Gebiete zu unterscheiden, wenn man zu klaren Lösungen der Aufgaben gelangen will, die sowohl die Natur, als die Technik darbieten. Dabei ergab sich deutlich, dass ein gewisses Gebiet der Geometrie, wie schon Kant dargelegt hatte, von der allgemeinen Geometrie abzusondern und als Bewegungsgeometrie oder Phoronomie mit den schönsten Erfolgen abgetrennt werden kann und worden ist. Nur fanden wir, dass dies noch deutlicher, bestimmter geschehen könne zum Vortheil des Ganzen. Auf etwas Aehnliches werden wir nunmehr unsre Aufmerksamkeit wenden müssen, um in der Mechanik der Maschinen die Wege zu finden, welche das grossartige und wichtige Gebiet der Maschine als ein wissenschaftlich klares und geordnetes begreifen lassen. Hierbei ergibt sich, dass die Maschinenmechanik, ähnlich der Phoronomie von der allgemeinen Geometrie, als eigenthümlicher und begrenzter Theil von der allgemeinen Mechanik abgetrennt werden sollte, um ihr volles Verständniss zu sichern.

Zu den zahllosen Vorgängen in der Körperwelt, welche mechanischer Natur sind, deren ursächlicher Zusammenhang also durch die wissenschaftliche Mechanik dargestellt wird, gehören auch die Bewegungsvorgänge in den Maschinen. Die in diesen

stattfindenden Bewegungen unterscheiden sich aber von den übrigen dadurch, dass sie in einer vorausbestimmten, voraus erkennbaren Weise vor sich gehen, trotzdem Kräfte in der Maschine auftreten, welche die Bewegungen ihrer Theile aufs mannigfachste störend abzuändern ausreichen würden. Die Ursache hiervon liegt in der Bildungsweise der Maschine. Offenbar ist diese Bildungsweise etwas Eigenthümliches, Merkwürdiges. Nach ihren Gesetzen hat man vor etwa einem Jahrhundert streng wissenschaftlich zu forschen begonnen, ist indessen lange Zeit hindurch, obwohl man stets erfreuliche Fortschritte machte, nicht bis zu ihren letzten Gründen vorgedrungen. Ich habe diese Gesetze im Jahre 1862 nachzuweisen gesucht und sie seitdem meinen bezüglichen Vorlesungen zu Grunde gelegt; 1864 habe ich sie vor der schweizerischen Naturforscherversammlung und deren deutschen Gästen zum erstenmal ganz öffentlich vorgetragen; dann habe ich sie von 1865 ab in einzelnen Abhandlungen in Berliner „Verhandlungen“ veröffentlicht und sie endlich 1872/74 in meinem Buche „Theoretische Kinematik“, dem nunmehr als ersten Band des gegenwärtigen Werkes bezeichneten Buche, dem Publikum geordnet vorgelegt. Der „theoretischen“ Kinematik muss sich für die Maschinentechnik folgerichtig weiterhin als dritter Theil eine „angewandte“ Kinematik anschliessen, d. i. eine besondere Nachweisung und lehrbare Darlegung der Anwendungen, welche die Gesetze zu finden haben. Diese „angewandte“ Kinematik nimmt bei der Vielheit der Maschinenprobleme den weitaus grössten Raum ein. Sie war aber schon lange Lehrgegenstand an den technischen Schulen gewesen, indessen in anderer Form als der meinigen, wobei sie einen theoretischen Unterbau nicht besass, vielmehr die Mechanismen und Maschinen vom Erfinder gleichsam fertig übernahm und sie nun erklärte. Dies geschah mit vielem Erfolg und zweifellosem Nutzen. Deshalb konnte ich längere Zeit zuwarten ohne an die Veröffentlichung auch dieses nothwendigen dritten Theiles zu gehen. Indem ich denselben in meinen Vorlesungen behandelte, von welchen mehrere begrenzte Veröffentlichungen durch Umdruck von meinen Zuhörern veranstaltet wurden, konnte ich an der ungemein schwierigen Aufgabe, die angewandte Lehre sorgfältig aus- und durchzubilden, weiter arbeiten. Diese Durcharbeitung war in der That ausserordentlich schwierig und mühevoll. In ihren Grundzügen, d. h. gleichsam in der Form eines Inhalts-

verzeichnisses, habe ich den „angewandten" Theil in der vierten Auflage meines Handbuches „Der Konstrukteur" dem technischen Publikum vorgelegt, zugleich auch mancherlei Anwendungen davon gemacht, somit versucht, dem Maschinenpraktiker wenigstens eine Anzahl wichtiger Beispiele ohne weiteres vorzuführen. Die Einschiebung der gegenwärtigen Untersuchung hat sich inzwischen als nothwendig oder doch in hohem Grade empfehlenswerth ergeben.

§. 29

Ampère's Begründung der Kinematik

Bei dem Namen „Kinematik" muss ich ein wenig verweilen, da er wiederholt in Missverständnisse hineingezogen worden ist. Er wurde durch Ampère in der Form „Cinématique" dem Wissenszweige gegeben in dem werthvollen, allerdings heute etwas verblassten Buche „Essai sur la Philosophie des sciences" 1834; hergeleitet war er von *κινέω*, ich treibe, treibe an, zwinge zu gehen, was gewiss gut passt. Ich habe, als ich auch für Deutschland die Annahme des Namens (1862) empfahl, daneben ein deutsches Wort dafür vorgeschlagen, nämlich „Getriebelehre". Für „gezwungen gehend" bildete ich zugleich das Wort „zwangläufig", welches seitdem allgemeine Annahme gefunden hat; man kann deshalb „Kinematik" auch mit „Zwanglauflehre" wiedergeben. Ich muss bedauern, hierauf nicht schon ganz früh nachdrücklich hingewiesen zu haben. Mich hielt ab, dass das Wort sich nicht zur Bildung von Eigenschafts- und Beiwörtern eignet; aber es spricht seinen Inhalt viel entschiedener, viel derber, möchte ich sagen, aus, als das feinere und schlichtere „Getriebelehre". Inzwischen ist leider das Wort „Kinematik" mehrfach unrichtig verstanden worden und in falsche Deutungen gerathen; ganz ebenso aber ist es der zu bezeichnenden Wissenschaft selbst ergangen.

Es hat sich nämlich seltsamerweise ein förmlicher Mythus über das gebildet, was Ampère unter „Cinématique" verstanden habe. Mit Geräusch ist die Meinung verbreitet worden, Ampère habe den Namen Kinematik „für die geometrische Bewegungslehre und ihre Anwendung auf die Maschinen bestimmt",

er habe der Kinematik ein „festes mathematisches Fundament“ gelegt (und ich hätte dies nicht beachtet), er habe „eine enge Vereinigung der Mechanismenlehre mit der geometrischen Bewegungslehre gefordert“, und ferner, es sei „das Verdienst Ampère's, zuerst erkannt und darauf hingewiesen zu haben, dass die geometrische Bewegungslehre zur Untersuchung das geeignete Hülfsmittel sei“ usw. Diese auffallenden, so sicher auftretenden Aeusserungen sind durch eine ganze Reihe wissenschaftlicher Zeitschriften herumgetragen worden. Sie zeigen, welchen ganz unvorhersehbaren Gefahren eine sich entwickelnde Wissenschaft ausgesetzt ist, denn sie sind vollständige Märchen, Phantasiegebilde von A bis Z! Es liegt im Interesse der Wissenschaft im allgemeinen und der deutschen insbesondere, dieser Verwirrung ein Ende zu bereiten. Ich gehe zu diesem Ende auf den Inhalt des Ampère'schen Buches etwas näher ein. Wir sind dies dem grossen Physiker wegen seiner hohen wissenschaftlichen Verdienste überhaupt schuldig.

Ampère benannte sein, in den Jahren 1830 bis 1834 entstandenes Buch, über dessen Hauptgedanken im Juli 1833 ein vorbereitender Aufsatz im *Temps* erschien, auch mit dem Nebentitel: *Exposition analytique d'une classification de toutes les connaissances humaines.* Es war die Zeit der Eintheilung, Ordnung der Stoffe, Theilung des wissenschaftlichen Besitzes, den man gleichsam als völlig übersehbar betrachtete, wobei wir indessen nicht vergessen dürfen, auch unsre Zeit nicht vergessen hat, dass Ampère, gleichzeitig mit Oersted, die Einheit von Elektrizität und Magnetismus entdeckt hat. Ampère behandelt im ersten Abschnitt in §. I die Arithmetik, in §. II die Geometrie und in §. III unsren Gegenstand. Nachdem nämlich in §. II die Geometrie in ihrem ganzen Umfange besprochen und erledigt worden, folgt auf S. 48 der §. III mit der Ueberschrift: Wissenschaften der dritten Ordnung, welche sich auf die allgemeine Bestimmung der Bewegungen und der Kräfte beziehen. Der Text lautet dann wie hier folgt.

„Auf die Wissenschaften, welche die Messung und die Eigenschaften des Raumes zum Gegenstande haben, pflegt man allgemein diejenigen folgen zu lassen, welche sich auf die Bestimmung der Bewegungen und der Kräfte beziehen; es leuchtet auch ein, dass dies bei einer natürlichen Klasseneintheilung der Wissenschaften der ihnen zukommende Platz ist.

a) Aufzählung und Begriffsbestimmungen.

1. Kinematik. Lange bevor ich mich (fährt Ampère fort) mit der gegenwärtigen Arbeit beschäftigte, hatte ich bemerkt, dass man allgemein in den Anfängen aller Bücher, welche diese Wissenschaften behandeln, Betrachtungen auslässt, welche bei ausreichender Entwicklung eine Wissenschaft dritter Ordnung begründen müssen, von welcher einige Theile behandelt worden sind, sei es in Einzelarbeiten, sei es selbst in besonderen Werken, z. B. in dem, was Carnot über die Bewegung in geometrischer Betrachtung geschrieben, und dem „Essai sur la composition des machines von Lanz und Bétancourt". Diese Wissenschaft muss alles in sich schliessen, was über die verschiedenen Arten der Bewegung in Unabhängigkeit von den Kräften, welche sie hervorbringen können, zu sagen ist (... *tout ce qu'il y a à dire des différentes sortes de mouvements*, *indépendamment des forces qui peuvent les produire*). Sie muss sich zuerst mit allen den Betrachtungen beschäftigen, welche Bezug haben auf die in den verschiedenen Bewegungen durchlaufenen Räume, auf die zu deren Durchlaufung aufgewandten Zeiten (und) auf die Bestimmung der Geschwindigkeiten, entsprechend den verschiedenen Verhältnissen, welche zwischen diesen Räumen und Zeiten bestehen mögen. Sie muss alsdann die verschiedenen Vorrichtungen (*instruments*) studiren, mit deren Hülfe man eine Bewegung in eine andere verwandeln kann; demzufolge soll man, wenn, wie üblich, diese Vorrichtungen unter dem Namen Maschinen begriffen werden, eine Maschine nicht, wie man gewöhnlich thut, als eine Vorrichtung erklären, mittelst deren man eine Kraft nach Richtung und Grösse abändern kann, sondern vielmehr als eine Vorrichtung, mittelst deren man eine gegebene Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit abändern kann. Hierdurch macht man die Begriffsbestimmung unabhängig von der Beachtung der Kräfte, welche auf die Maschine wirken, eine Beachtung, welche nur dazu dienen kann, die Aufmerksamkeit desjenigen zu zerstreuen, welcher den Mechanismus der Maschine sich klar zu machen versucht. Braucht man z. B., um sich eine genaue Vorstellung von dem Räderwerke zu verschaffen, vermöge dessen der Minutenzeiger einer Uhr zwölf Umläufe vollzieht, während sich der Stundenzeiger nur einmal dreht, sich mit der Kraft zu beschäftigen, welche die Uhr

in Bewegung setzt? Bleibt die Wirkung des Räderwerkes nicht dieselbe, welche beliebige Kraft auch die Bewegung herbeiführe, wenn man z. B. den Minutenzeiger mit dem Finger umtreibt?

Ein Lehrbuch, in welchem man so alle Bewegungen unabhängig von den Kräften, die sie hervorbringen mögen, behandelt, würde ausserordentlich nützlich für den Unterricht sein, da es die Schwierigkeiten, die das Spiel der verschiedenen Maschinen bietet, darlegen würde, ohne dass zugleich der Lernende diejenigen zu überwinden hätte, welche aus den Betrachtungen über das Gleichgewicht der Kräfte hervorgehen mögen.

Dieser Wissenschaft, in welcher die Bewegungen an sich betrachtet werden, so wie sie uns an Körpern unsrer Umgebung und insbesondere an den Vorrichtungen, die man Maschinen nennt, erscheinen, habe ich den Namen Kinematik, von *κίνημα*, Bewegung, gegeben.

Nach (Anstellung von) diesen allgemeinen Betrachtungen über das, was Bewegung und Geschwindigkeit ist, hat die Kinematik sich vor allem mit den Beziehungen zu beschäftigen, die zwischen den Geschwindigkeiten der verschiedenen Punkte einer Maschine, und allgemein, einer Gesammtheit stofflicher Punkte in allen Bewegungen bestehen, welche die Maschine oder diese Gesammtheit zu durchlaufen hat; mit einem Worte, mit der Bestimmung dessen, was man die virtuellen Geschwindigkeiten nennt, unabhängig von den an den stofflichen Punkten angreifenden Kräften, eine Bestimmung, welche unendlich leichter zu verstehen ist, wenn man sie so von allen, auf die Kräfte bezüglichen Betrachtungen ablöst. Wenn man dann, bei der weiterhin folgenden Wissenschaft zweiter Ordnung *) angelangt, die Schüler, welche die genannte Bestimmung gut erfasst und sich längere Zeit hindurch mit ihr vertraut gemacht haben, in dem allgemeinen Lehrsatz unterrichten will, der unter dem Namen Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten bekannt ist, so wird dieser, auf dem gewöhnlichen Wege so schwer verständlich zu machende Satz ihnen keinerlei Schwierigkeit mehr bieten."

Es folgen nun bei Ampère:

2. Statik, 3. Dynamik, 4. Molekularmechanik mit den nöthigen Erläuterungen und dann unter der Bezeichnung „Klassifikation" die in Ampère's Werk für zusammengefasste Wissenschaften

*) Der transcendenten Mechanik.

jedesmal ausgeführte tabellarische Zusammenstellung, hier folgendermafsen lautend:

Wissenschaft 1. Ordnung	Wissenschaften 2. Ordnung	Wissenschaften 3. Ordnung
Mechanik	Elementarmechanik	Kinematik Statik
	Transcendente Mechanik	Dynamik Molekularmechanik

Daran schliessen sich einige Bemerkungen („*Observations*"), in denen von der Kinematik nichts Neues beigebracht wird, und der Paragraph ist zu Ende. Auch weiterhin, ebensowenig wie vorher, kommt nichts Besonderes von der Kinematik mehr vor.

Man wird gegenüber den oben angeführten Behauptungen wohl erstaunt sein, in dem ganzen Abschnitte nicht das mindeste von dem zu finden, was die obigen Anführungen Ampère in die Schuhe schieben. Nicht einmal das Wort Mathematik, nicht das Wort Geometrie, abgesehen von der Anführung der Carnot'schen Schrift*), nichts von einer „Forderung" Ampère's, „die Mechanismenlehre mit der geometrischen Bewegungslehre zu verbinden", kein Laut von „der geometrischen Bewegungslehre und ihrer Anwendung auf die Maschinen", nichts, nicht eine Silbe von „Hinweis auf die geometrische Bewegungslehre als geeignetstes Hülfsmittel", nichts von „Legung eines festen mathematischen Fundamentes", null und nichts von allemdem! Es gibt einen hoch bewunderten Zweig der astronomischen Wissenschaft, der mit Leverrier's Neptunberechnung einsetzte; man nennt ihn wohl die Astronomie des Unsichtbaren; die obigen, meist so nachdrucksvollen Phrasen, die wie eine Wucherung die ganze geometrische Kritik Deutschlands durchwachsen hatten, schienen eine Aera der „Kritomanie des Unsichtbaren", oder wenigstens des Ungesehenen, Ungelesenen, einleiten zu wollen. Die Veranstalter haben damit aber kein dauerndes Glück gehabt, weder bei der Wissenschaft, noch bei der Kritikleitung. Der ganze Wucherpilz war hohl und zerplatzte bei dem ersten Stich mit der prüfenden Sonde. In zwei Vorträgen, die ich**) vor einem Zuhörerkreis von lauter Fachmännern hielt, habe ich die Grundlosigkeit der Behauptungen, die verriethen, dass ihre Urheber

*) Die, nebenbei bemerkt, nie erschienen ist, ihm also nur handschriftlich bekannt war.

**) Im Januar 1890 in der Berliner Abth. d. Ver. deutscher Ingenieure.

Ampère's Werk aus freier Einbildungskraft nach ihren Wünschen sich vorgestellt hatten, dargelegt. Sie sind seitdem verstummt. Dass Geometer und Techniker, die der Kinematik ferner stehen, sich für eine Zeitlang beirren lassen konnten, ist wohl erklärlich; hat doch alles, was von der altehrwürdigen Wissenschaft der Geometrie herkommt, das günstigste Vorurtheil für sich. Immerhin liegt aber der Kinematik heute die Verpflichtung auf, noch weit genauer als schon geschehen ist, ihre Grundsätze und deren Anwendungen auf das Maschinenwesen vorzulegen.

§. 30

Die Kinematik ein Theil der Mechanik

Ampère will, wie wir gesehen haben, ausdrücklich der Kinematik nicht eine geometrische, sondern eine mechanische Grundlage, insbesondere diejenige von den „virtuellen Geschwindigkeiten“ gegeben wissen. Das letztere insbesondere ist nicht glücklich, wie ich mich zu sagen genöthigt sehe, da wir doch nun einmal auf den Text zurückkommen mussten. Es ist um so weniger glücklich, als darin ein innerer Widerspruch liegt. Ampère will die Kräfte los sein, sie von der Bewegung der Maschine abschütteln, und braucht doch wieder ihre Richtungen für die virtuellen Geschwindigkeiten. Es entgieng seiner Beachtung, dass die Kräfte in der Mehrzahl der kinematischen Aufgaben auch theoretisch unentbehrlich sind, wie ich noch zeigen werde. Hunderte von Aufgaben der Kinematik, der Lehre vom Zwanglauf, sind durch die Kräfte bedingt. Er wollte nun diese aus der Bewegung herausgeschafft wissen. Warum eigentlich, das sagt er uns nur mittelbar, nämlich nur durch sein Beispiel von dem Räderwerk der Uhr. Unter der kleinen Betrachtung, die er diesem widmet, steckt als Unterlage, dass die Formen, Stoffe und Abmessungen der Räder, ihrer Achsen und Lagerungen es mit sich brächten, dass bei irgend welchen Kräften die Drehungen der beiden Zeiger das bekannte Verhältniss besitzen. Bei „irgend welchen Kräften“, wörtlich „bei beliebigen Kräften“, darf übrigens offenbar hier nicht anders verstanden werden als: bei Kräften von solchem grössten Werth, dem die Rädlein noch sicher zu widerstehen vermögen. Mit anderen Worten: die

Annahme liegt unter, dass den betrachteten körperlichen Gebilden so viel Widerstandsfähigkeit inne wohne, dass sie durch die zur Einwirkung bestimmten Kräfte nicht wesentlich, oder genauer gesagt, nur vernachlässigbar wenig, in ihren Formen geändert werden können. Nur unter dieser Voraussetzung ist nämlich das wahr, was Ampère von seinem Räderwerkchen aussagt.

Den Inhalt dieser meiner Schlussfolgerung habe ich nun im ersten Bande dieses Werkes zum Grundsatz erhoben. Statt die Kräfte theoretisch zu beseitigen, wie Ampère zu wollen behauptet, lasse ich sie unangetastet, denke aber die Theile mit ausreichender Widerstandsfähigkeit begabt. In einer grossen Anzahl von Fällen kann dies so geschehen, dass die, stets unvermeidlichen, Formänderungen der Theile vernachlässigbar klein ausfallen. Das ist der Bereich, auf den Ampère's Beispiel passt. In diesem ist dann die von Ampère gewünschte sogenannte Unabhängigkeit von den Kräften wenigstens in gewisser Beziehung hergestellt. Denn wenn die Bedingung von der Widerstandsfähigkeit immer erfüllt gedacht ist, wird es gleichgültig, von welcher Grösse die auf die Theile wirkenden Kräfte gedacht sind. Dieselben hinwegdenken darf man aber nicht, sonst fällt alles ins Unbestimmte. Dies zeigte sich auch an Ampère's eigenem Beispiel von dem Räderwerkchen. An diesem ruft ein Zug oder Druck auf die Achsen gar keine Bewegung hervor, wenn das Lagergestell festgehalten ist, während andrerseits beim Feststellen eines der beiden Mittelräder, wenn die äussere Achse quer zur Achsenebene gedrückt wird, ein Umlaufräderwerk, also etwas anderes als eine Uebersetzung von 1 zu 12, entsteht usw. usw. Auch die Begriffsbestimmung, welche Ampère der Maschine gegeben wissen will, ist nicht gut.

Mein vorstehender Satz von der ausreichenden Widerstandsfähigkeit ist höchst einfach und schlicht. Ja so einfach, dass er sich ganz von selbst zu verstehen scheint. Das hat zur Folge gehabt, dass er häufig gänzlich übersehen worden ist, obwohl er von grosser und zwar grundlegender Bedeutung ist. Von allen diesen Bemerkungen muss ich hervorheben, dass ich sie nicht etwa nach der That gleichsam in meine kinematische Theorie hineinbeweise, sondern dass ich dieselben von Anfang an in meinen Veröffentlichungen deutlich und klar gebracht habe.

Was nun die „Kinematik“ zu lehren hat, von was sie die

Gesetze darzulegen hat, ist ein Einziges: der Bewegungszwang oder die Art und Weise, wie Bewegungen erzwungen werden. Möge das im Einzelnen verwickelt sein, zahlreiche Eintheilungen erfordern, es ist eine einzige Frage, auf welche die genannte Wissenschaft zu antworten unternimmt.

Der Zwang, welcher die Bewegungen in den „Vorrichtungen, welche wir Maschinen nennen", zu bestimmten und sich stets genau wiederholenden macht, bildet offenbar ein Gebiet der Mechanik, da es sich um Verursachung von Bewegungen handelt. Das Wesen des Zwanges in den „machinalen" Einrichtungen besteht aber darin, dass in ihnen Körper unter Berührung aufeinander wirken, und zwar so, dass vermöge der in den Körpern vorhandenen Widerstandsfähigkeit und vermöge der Formen der berührenden Theile für jeden derselben alle Relativbewegungen ausser einer einzigen ausgeschlossen sind. Wird unter dieser Voraussetzung überhaupt Bewegung in ein machinales Gebilde eingeleitet, so muss sie jene einzig möglich gelassene werden, und zwar in Bezug auf die Form der Bewegung; das Bewegungsmafs, die Schnelle, hängt von der Grösse der zur Wirkung kommenden Kräfte ab.

Die Kinematik oder Zwanglauflehre ist nach dem Vorstehenden derjenige Zweig der Mechanik, welcher lehrt, wie die Maschine eingerichtet ist, oder wie man sie einzurichten hat, damit die vermöge Einwirkung äusserer Kräfte in ihr eintretenden Bewegungen bezüglich aller ihrer Bahnen zu bestimmten werden.

§. 31

Die kinematischen Elementenpaare in ihrer Allgemeinheit

Viele Jahrtausende hindurch hat die Menschheit daran gearbeitet, den Zwanglauf für beabsichtigte Bewegungen zu schaffen, das wunderbare Werk, welches wir Maschine nennen, zu bilden. In langsamen kleinen Schritten hat sie, beim Erwachen der Kultur beginnend, die eine kleine Aufgabe nach der anderen gelöst, bis sie zu grösseren erstarkte und dann rasch voranschritt. Nicht diente, wie viele glauben möchten, die Natur als Vorbild. Freilich enthält auch sie Maschinen und namentlich in grosser

Zahl Mechanismen, in der unorganischen Welt sowohl, als namentlich in der organischen. Aber von diesen entziehen sich vor allem die letzteren der Beachtung viel zu sehr, als dass man sie leicht hätte erkennen können. Es bildete sich vielmehr ein entschiedener Gegensatz zwischen den Anschauungen vom lebenden Wesen und der Maschine. Erst die höchste, am weitesten vorgeschrittene Forschung vermag die Uebereinstimmung zwischen beiden, die bis zu einem gewissen, aber genau angebbaren Grade besteht, nachzuweisen *); darauf werden wir weiter unten zurückkommen müssen.

Da hiernach leicht verständliche Vorbilder nicht vorlagen, musste denn der Weg betreten werden, aus der Erfahrung an Bekanntem durch Schlussfolgerung zu Neuem zu gelangen. Das ist aber, was man das Erfinden nennt. Auch heute werden auf diesem Wege immer noch im Maschinenfach ausgezeichnete Fortschritte auch ohne die Hülfe der kinematischen Wissenschaft gemacht. Ungleich schneller aber und bedeutend leichter und sicherer wird die Neuschaffung der Maschine, wenn diese Hülfe vorhanden ist. Denn nun tritt neben die Erfahrung an begrenztem Bekannten die Kenntniss des weit umfassenden wissenschaftlichen Gesetzes, das dem Bekannten zu Grunde liegt. Sehen wir vorläufig von dem geschichtlichen Werden der Maschine ab, suchen vielmehr theoretisch in dasselbe einzudringen, so ist der wichtige Punkt festzuhalten, dass die Theile der Maschine, wie wir vorhin erkannten, gegenseitig aufeinander wirken, nicht jeder für sich, sondern stets der eine auf den andern. Da dies aber durchweg der Fall ist, muss in der Maschine etwas Aehnliches zu finden sein, wie das, was wir oben bei den geometrischen Figuren, die aufeinander rollten, vorfanden; die Theile müssen paarweise in der Maschine vorkommen oder: die Maschine besteht, kinematisch aufgefasst, aus Paaren von Elementen. Ich nannte sie: „kinematische Elementenpaare“. Gleich dieser erste Grundsatz unterscheidet sofort die kinematische Untersuchungsweise von anderen, z. B. von der chemischen und physikalischen. Denn die Chemie zerlegt die Körper in einzelne Elemente, die Physik trennt sie in einzelne, für sich bestehende Theile, Theilchen, Moleküle, Atome. Hier dagegen tritt jedes Element zunächst als ausgebildeter, sichtbarer, greifbarer Körper auf und thut

*) Lamettrie's *Homme machine* war überwiegend Satire, nicht Forschung.

dies zugleich nicht anders, denn als Partner in einem Paare von seines Gleichen.

Betrachten wir nun diese Elemente oder Grundtheile der Maschine vorerst ganz allgemein, indem wir die Art ihres physischen Aufbaues, den der Physiker Aggregatzustand, d. i. Zusammenfindung, Zusammensetzung ihrer kleinen Theile nennt, ins Auge fassen und als Merkmal benutzen, so können wir drei Arten von kinematischen Elementen unterscheiden, nämlich:

allseitig feste, nur zugfeste, nur druckfeste

körperliche Gebilde, d. h. solche, deren kleine Theile als Ganzes:

nach allen Seiten, nur gegen Entfernung,
nur gegen Annäherung

Widerstand leisten, oder, um die Elemente mit allgemeinen, ihren stofflichen Aufbau angebenden Namen zu versehen:

1) starre Elemente, 2) Zugelemente, 3) Druckelemente.

Was ein starres Element ist, versteht sich leicht; es ist im Stande, Zug, Druck, Biegung, Drehung zu widerstehen. Zugelemente sind solche, die wesentlich nur einem Zug zu widerstehen vermögen, wie Faden, Band, Kette. Druckelemente sind im Gegensatz hierzu solche Gebilde, die wesentlich nur einer Näherung ihrer kleinen Theile, einem Druck, zu widerstehen vermögen, wie Flüssigkeiten, auch breiige und körnerige Stoffe. Zug- und Druckelemente fasse ich auch*) zusammen als „bildsame" Elemente, da sie im Gebrauch Formänderungen eingehen. Die Unterscheidung zwischen den Zuständen (1) und (3) macht die Physik ebenfalls, wobei sie allerdings nur bis zum tropfbaren und gasigen Fliessen geht, auch für ihre Untersuchungen nicht weiter zu gehen braucht. Dagegen unterscheidet sie nicht deutlich die Elemente (1) und (2), obwohl sie auch Gebilde nach (2) behandelt, und zwar so, als ob sie in anderer als der Zugrichtung keinen erheblichen Widerstand gegen Formänderungen leisteten; in solcher Weise bedient sie sich des Fadens, z. B. bei der Atwood'schen Fallmaschine; weiter geht sie theoretisch nicht. Für das Maschinenwesen ist indessen der Unterschied zwischen den

*) S. Theoretische Kinematik, S. 165.

starren Körpern und den bloss zugfesten Körpern so gross und so weitgreifend, dass er in keiner Weise übersehen oder vernachlässigt werden kann. Unten werden wir hierauf noch näher zurückkommen müssen.

Die Elemente der drei Gattungen werden nun vom Maschinenbildner zu Paaren — „Elementenpaaren“ — verbunden, und zwar in solcher Weise, dass jeder Partner eines Paares zwangläufig gegen den andern ist, d. i. nur Eine Art von Bewegung gegen denselben vollziehen kann, wenn die Ausführung vollkommen ist. Von Annäherungen an die Vollkommenheit wollen wir hier zunächst absehen; zu den unausgesetzten Bestrebungen des heutigen industriellen Maschinenbaues gehört es, die Genauigkeit der Ausführungen zu steigern. Es sind nun aus den drei gegebenen Einheiten sechs Arten der Paarvereinigung herstellbar, nämlich die Vereinigung der Elementenart:

1 mit 1, 1 mit 2, 1 mit 3,
2 mit 2, 2 mit 3,
3 mit 3.

Aus diesen sechs Arten von Elementenpaarungen bestehen alle Maschinen.

Hiermit ist ein vorläufiger theoretischer Ueberblick über das ganze Gebiet des Maschinenwesens erreicht. Um ihn auszunutzen, haben wir freilich noch vieles zu thun; zunächst müssen wir ihn etwas vereinzeln, um die praktischen Fälle auf ihre Zugehörigkeit zu der einen oder andern Elementenverbindung zu prüfen. Danach erst werden sich die ferneren Verwendungen der Paare in Betracht ziehen lassen.

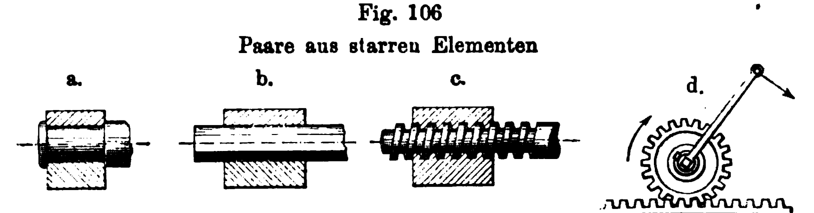
Starre Elemente mit starren Elementen (1, 1), aus allseitig festen Stoffen hergestellt, werden zu zwei Gattungen von Paaren verbunden, von denen im ersten Bande ausführlich gesprochen wurde, nämlich zu „niederen“ und zugleich „Umschlusspaaren“ und zu „höheren oder Umhüllungspaaren“ *). Bei ersteren sind die Bewegungen des Partners A gegen den Partner B gleich denjenigen von B gegen A. Es gibt dieser niederen Paare nur drei, Zapfen und Lager, Prisma und Hohlprisma

*) Theoretische Kinematik, S. 90 und 119.

Schraube und Mutter, s. Fig. 106 a, b und c. Bei der zweiten Gattung, s. Fig. 106 d, kann die Bewegung von B gegen A sehr

Fig. 106

Paare aus starren Elementen

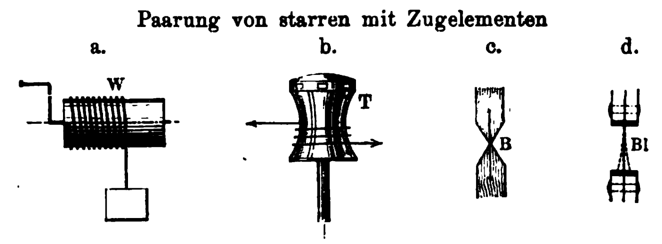


verschieden von derjenigen von A gegen B sein, wie im Falle d, jedoch können auch beide gleich sein.

Starre- mit Zugelementen (1, 2), werden beispielsweise folgendermafsen gepaart: Fig. 107 a „Wicklung" des Zugelementes

Fig. 107

Paarung von starren mit Zugelementen



auf eine Trommel, d. i. einem angemessen geformten starren Körper, oder von demselben ab; b „Treibung" mit Zugelement, d. i. Aufwicklung verbunden mit gleichzeitiger Abwicklung; c Bandgelenk, völlig biegsames Band an einer Kante befestigt, vertritt Zapfengelenk Fig. 106 a; d Blattgelenk, ein elastisches Blatt an Stelle des völlig biegsamen Bandes unter c, angewandt an Uhrpendeln, ferner an Emery's Waagen *), auch an Brückengelenken **).

Starre mit Druckelementen (1, 3), erscheinen in unzähligen Paarungen, und zwar Umschlusspaarungen, in Röhren, Kanälen, Kapselungen, Schaufelungen, bei den machinalen Benutzungen der tropfbar oder gasförmig flüssigen, auch körnerigen Gebilde, die als Druckelemente vorhin aufgeführt wurden. Da sie hier noch öfter zusammen zu besprechen sind, möchte ich sie

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 695, auch Berliner Verhandl. 1884 Sitzungsber. vom 3. März, und Glaser's Annalen 1897, Febr., S. 41.

**) Vergl. Reuleaux, Anwendung von Freiträgern im Brücken- und Hochbau, in Glaser's Annalen 1897, Februar, S. 41.

für die gegenwärtigen Zwecke mit dem gemeinsamen Namen „Flud“, das Flud, die Flude, bezeichnen, um kurz sein zu können. Paarung von Fluden mit starren Elementen finden nicht nur statt bei den Wasser-, Dampf-, Luft-, Gasmaschinen und -Pumpen, sondern auch im Prägewesen, in der Druckerei, sodann im Schmiedefach, wie im Walzwerk, in der Schmiedepresse, unter dem Hammer usw. Durch angemessene Erhitzung bringt man sodann auch starre Elemente in der Bildsamkeit hinauf bis zum Fliessen bei der Giesserei und paart das entstehende Flud mit dem starren, als „Form“ dienenden Element zum Umschlusspaar.

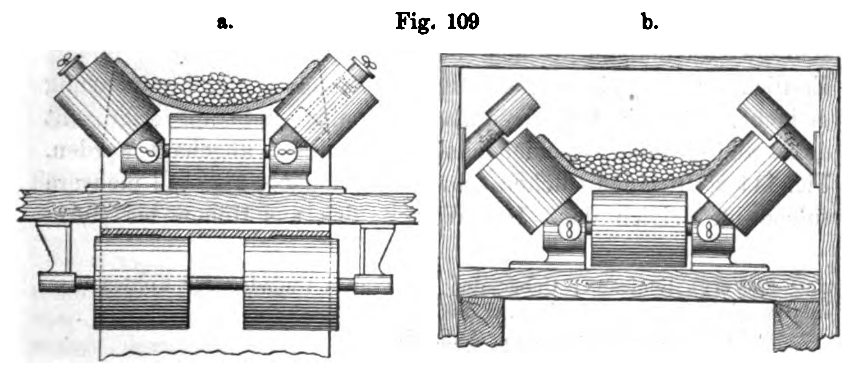
Zugelemente mit Zugelementen (2, 2), werden mannigfach gepaart. Deutlich unterscheiden sich die blosse Fortbewegung und die Gestaltgebung. Als Beispiele beider Gattungen seien angeführt, s. Fig. 108 a, die Bandführung der Schnellpressen, bei der die schwierige Aufgabe glänzend gelöst wird, das empfindlich biegsame Papier mit 3 bis 4 m Schnelle an ganz genau einzunehmende Stellen zu befördern, und b das Zusammenzwirnen zweier Fäden zu einem Schraubengebilde; die ganze, grossartige Faserstoffindustrie mit Spinnerei, Zwirnerei, Weberei, Wirkerei, Flechterei, Klöppelei baut sich auf diese, in reicher Mannigfaltigkeit der Formen auftretende, aber dieselbe Wesenheit der gegenseitigen Wirkung beibehaltende Paarung von Zugelementen auf.

Fig. 108
Paarungen aus Zugelementen

a.

b.

a. Fig. 109 b.



Zugelemente mit Druckelementen oder Fluden (2, 3), liefern vielgebrauchte Paare. Beispiele liefern Brunel's Seilpumpe, die Schlepptücher oder Lauftücher, die Schleppriemen, Fig. 109 (a. v. S.), die bei der Getreidespeicherung nun in grossartigem Gebrauch sind, die Lattenketten, die Becherwerke, Schleppketten, von denen Fig. 110 eine allgemeine Vorstellung gibt, ferner die mit

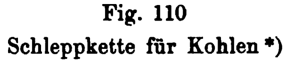
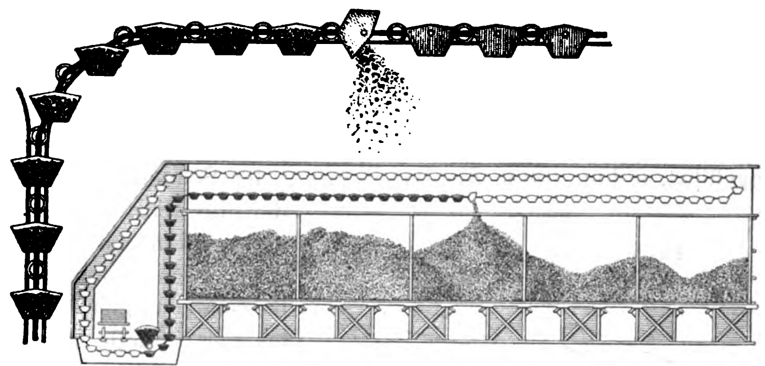


Fig. 110
Schleppkette für Kohlen *)



der Kette arbeitenden Bagger und Graber, und mannigfache andere Ausführungen. Wir haben später auf diese Paarungen noch einmal zurückzukommen.

Druckelemente mit Druckelementen, oder Flude mit Fluden (3, 3), finden sich verhältnissmäfsig am seltensten gepaart. Zu nennen sind: der Einspritzer, bei dem Wasser und Dampf, die Geiserpumpe **), die an praktischen Anwendungen fortwährend zunimmt (s. S. 160) und die Sprühflasche, bei denen Wasser und Luft, auch das Sandgebläse, bei dem Luft und Sand gepaart werden, sodann gewisse Gasbrenner, bei denen zwei Gasströme schräge aufeinander treffen und eine flache Flamme bilden. Endlich sei noch einer grossartigen Verwendung der Fludpaarung gedacht, nämlich derjenigen im kalifornischen Strahlwerfer, mit dem goldführende Geschiebebänke hydraulisch abgebaut werden. Fig. 111 stellt einen solchen seiner Bauart nach, Fig. 112 mehrere solche im Betrieb dar. Das Wasser, das aus Höhen bis 100 m

*) Vergl. Reuleaux, Ueber den Hunt'schen Umlader für Kohlen usw. in Glaser's Annalen 1895, Juni, S. 233.

**) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 895.

und mehr oft meilenweit zugeführt wird und aus Mundstücken von 135 bis 270 mm Weite in mächtigem Strahl austritt, zermalmt mit seiner Arbeitstärke, die bis zu 300 *PS* geht, die

Fig. 111
Hendy's Strahlwerfer

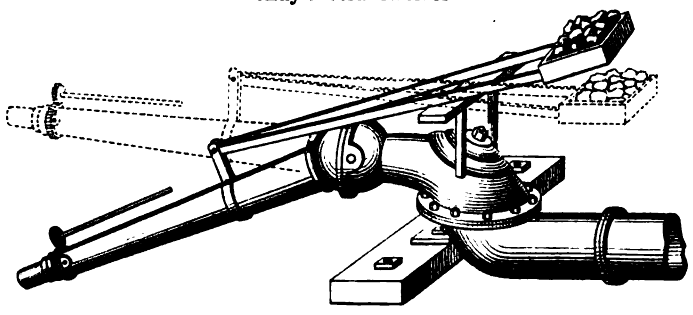
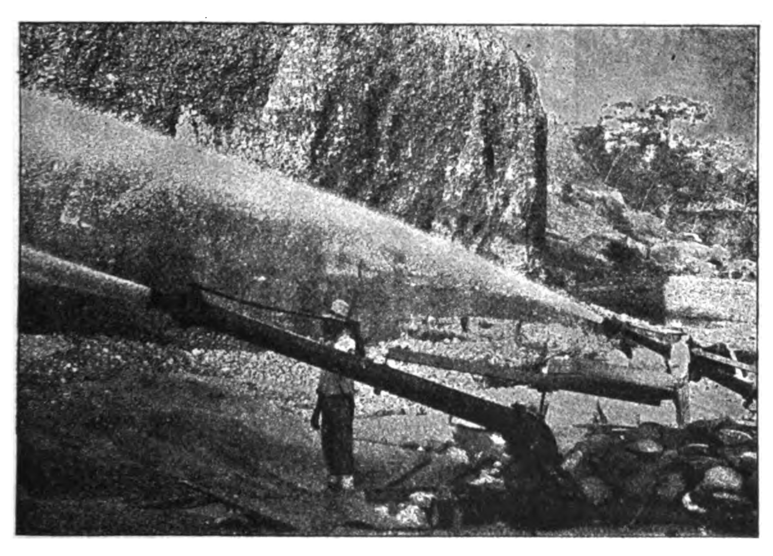


Fig. 112
Strahlwerfer im Betrieb



getroffene Geschiebebank zu körneriger Masse, zu Flud. Es findet also Paarung von Flud mit Flud statt *). Die Paarungen (3, 3)

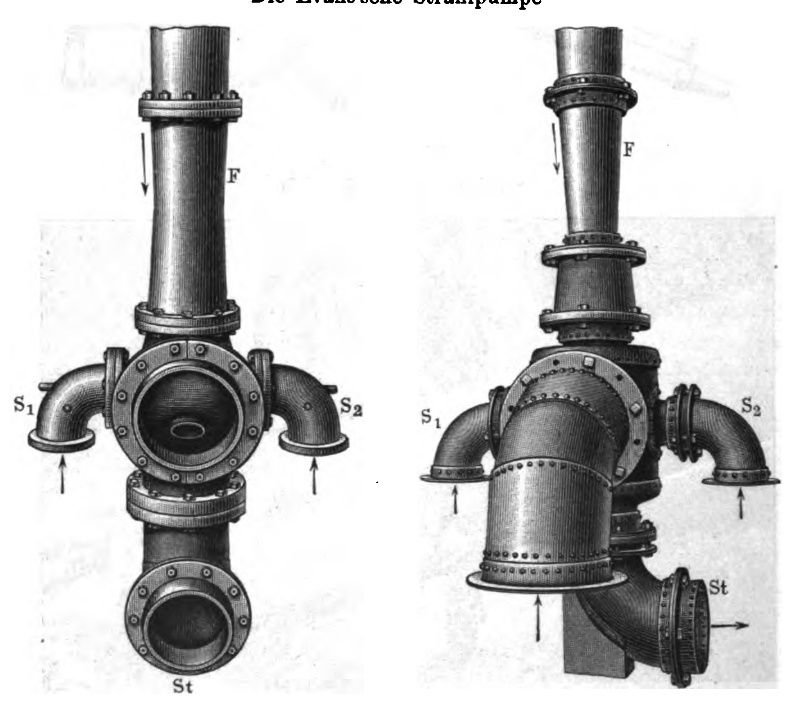
*) Vergl. Konstrukteur, S. 975 und 988. Die Amerikaner haben eine technische Bezeichnung für den Strahlwerfer (wie ich nach dem Vorbild vom „Scheinwerfer" zu sagen vorschlage) noch nicht gebildet, sondern benennen denselben mit erfundenen Eigennamen, wie Monitor, Diktator,

haben die bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit, sehr wenig Bautheile zu erfordern; es sind deshalb durch sie manche alt eingesessene Maschinen verdrängt worden, wie z. B. durch den, jetzt zu hoher Vollkommenheit entwickelten Einspritzer die zur Kesselspeisung dienenden Kolbenpumpen auf den Lokomotiven.

Grossartige Anwendungen hat derselbe Einspritzer bei blossem Wasserbetrieb in den Goldgebieten Kaliforniens in den letzten Jahren gefunden, und zwar an denselben Stellen, wo der soeben besprochene Strahlwerfer gebraucht wird. Die von diesem zer-

Fig. 113 Fig. 114

Die Evans'sche Strahlpumpe

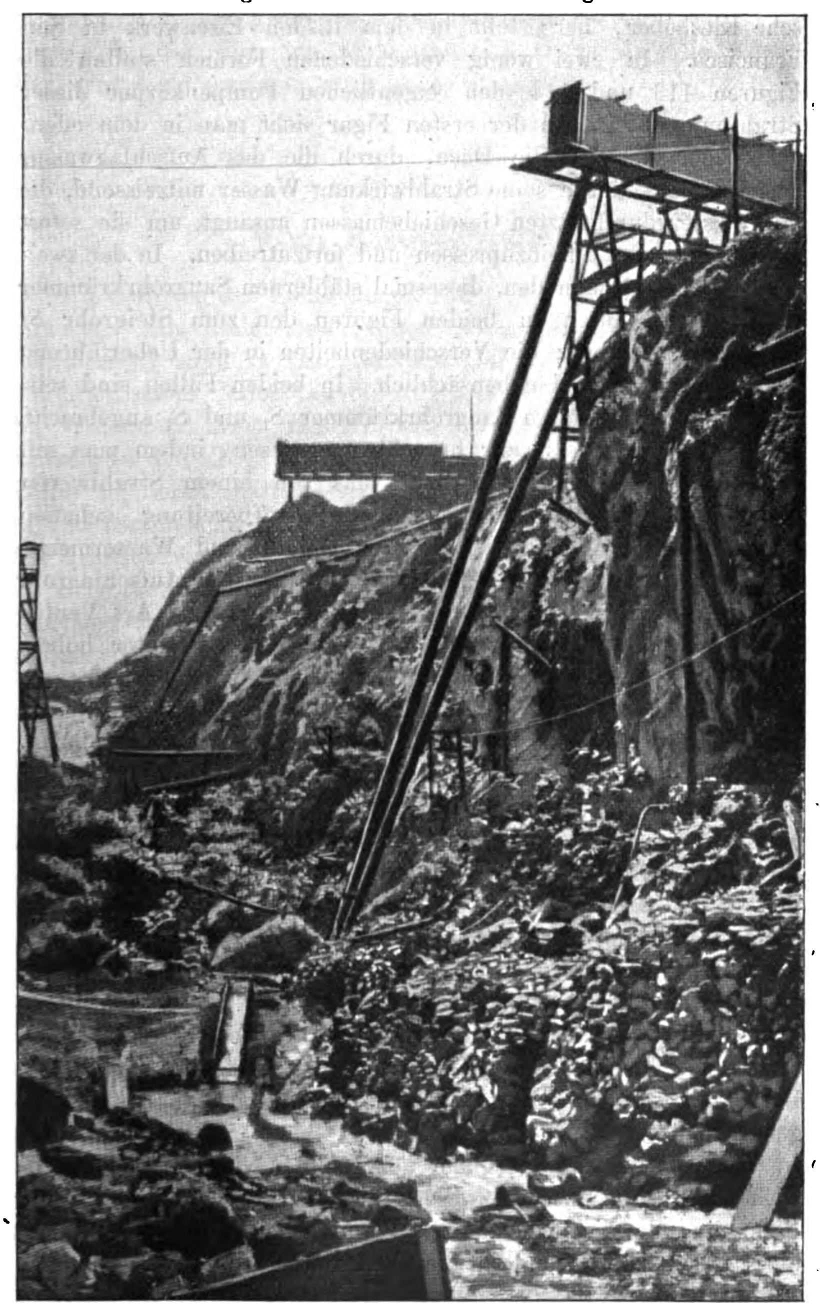


kleinerten, aber ebenso auch die im Bach- oder Flussgrunde auf natürlichem Wege abgelagerten kiesigen Massen werden mittelst mächtiger Strahlpumpen in die Höhe und weiter fort zur Auf-

---

Häuptling, kleiner Riese usw. Näheres findet man in Appleton's Cyclopaedia, Neuyork 1880, II, S. 439, ferner in Bowie, Hydraulic mining in California, Neuyork 1885 und in Kirkpatrick's Hydraulic gold miners manual, London und Neuyork 1890.

Fig. 115 Evans'sche Kiesheberanlage



bereitungsstelle geführt. Am meisten benutzt wird der Evanssche Kiesheber, hergestellt in dem Risdon-Eisenwerk in San Francisco. In zwei wenig verschiedenen Formen stellen die Figuren 113 und 114 den eigentlichen Pumpenkörper dieser Strahlpumpe dar. In der ersten Figur sieht man in dem offengelassenen Gehäuse die Düse, durch die das Aufschlagwasser zuströmt und, durch seine Strahlwirkung Wasser mitreissend, die mit Wasser durchsetzten Geschiebemassen ansaugt, um sie sofort in ein Steigrohr hineinzupressen und fortzutreiben. In der zweiten Figur sieht man den, diesesmal stählernen Saugrohrkrümmer S vorgesetzt, unten in beiden Figuren den zum Steigrohr St führenden Krümmer; die Verschiedenheiten in der Ueberführung des Fallrohrs F sind nebensächlich. In beiden Fällen sind seitlich noch zwei kleinere Saugrohrkrümmer S_1 und S_2 angebracht. Diese haben sich als sehr brauchbar erwiesen, indem man mit ihnen Tümpel entwässern, auch das von einem Strahlwerfer kommende Wasser hinauf nach der Aufbereitung schaffen kann usw. Die Düse wird je nach Gefälle und Wassermenge $2^1/_2$ bis 5″, d. i. 64 bis 127 mm weit gewählt. Das Aufschlagrohr liegt in der Regel auf einem Gerüst, das in eine Art Ventilstube endigt; wie schon oben erwähnt, steht es unter hohem Druck. Das Steigrohr führt je nach Umständen die Kiesmassen 15 bis 22 m in die Höhe und dann noch in der Ebene weiter. Eine Anlage aus der Muthung, die die goldene Feder heisst, führt Fig. 115 (a. v. S.) vor Augen, links das Fallrohr, rechts das Steigrohr. Die mit diesen Strahlpumpen geförderten Kiesmassen sind sehr gross. Auf der goldenen Feder z. B. werden bei 250′ Gefälle des Aufschlagwassers und $2^3/_4$ zölliger Düse täglich 2400 t Geschiebe auf 60′ Höhe gefördert; die gusseisernen Steigrohre haben jetzt (1897) schon über drei Jahre einer Auswechselung nicht bedurft. Wo aus dem Bachbett Kies gehoben werden soll, wird einfach eine Fläche von $^1/_2$ qm im Bachgrund frei gelegt und das Saugrohr dort angesetzt, worauf die Saugarbeit selbst das Niedergehen des Saugkopfes bewirkt. Der Sauger hängt an Flaschenzügen, mit denen man das Niedergehen regelt.

Die vorgeführten Beispiele gehören den verschiedenartigsten Richtungen des Maschinenwesens an, und das muss auch der Fall sein, da die Kinematik als wirkliche Wissenschaft nicht bloss einen Theil, sondern die Gesammtheit der Erscheinungen

ihres Gebietes in sich fassen muss. Die gewonnene Uebersicht ist zudem von weit grösserer Einfachheit, als die geradezu ungeheure Zahl der einzelnen Fälle erwarten lässt. Es ist nun auf die Form der Paarungen noch näher einzugehen.

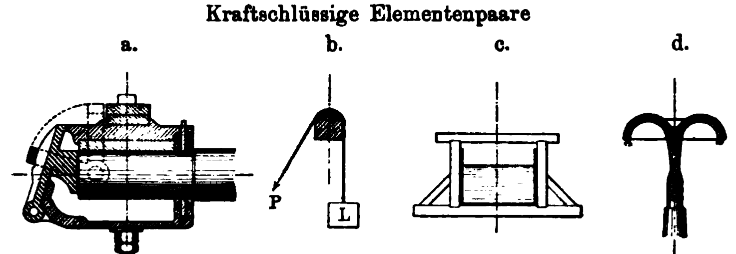
§. 32

Vom Kraftschluss

Die Aufgabe der Elementenpaarung, von der wir oben S. 152 sprachen, alle Relativbewegungen ausser einer einzigen auszuschliessen, kann in beschränktem Mafse für eine grosse Zahl von praktischen Fällen brauchbar gelöst werden, ohne durchweg die Widerstandskraft von Körpern zu benutzen. Statt dieser inneren, in den Körpern verborgenen Kräften *) kann man äussere Kräfte in Bereitschaft halten, um unerwünschten Relativbewegungen vorzubeugen. Diese Art der Paarschliessung nenne ich den Kraftschluss. Er ist sehr häufig, ja unentbehrlich, und zeigt, wie irrig es von Ampère war, die Kräfte aus der Kinematik ausschliessen zu wollen. Ein, seinen Drehzapfen nicht einmal halb umfassendes Lager, das Raoul'sche Achslager für Eisenbahnwagen, zeigt Fig. 116 a; es ist in sehr bewährtem Gebrauch, erhält den

Fig. 116

Kraftschlüssige Elementenpaare



Zapfen ungleich länger in brauchbarem Zustand, als das Lager mit Bundzapfen. Der Seilzug unter b wirkt zwiefach unter Kraftschluss, das einemal wegen Anlegung des Seils an die gerundete Stütze oder Rolle, das anderemal wegen der Senkrechtführung der Last L; das offene Gefluther oder Gerinne unter c leitet das Wasser gut, weil die Rinne nahezu waagerecht liegt und die

*) Ausführliches in Bd. I, S. 160 ff.

Schwerkraft demzufolge das Wasser gegen die drei vorhandenen Wände presst; die Doppelschaufel eines Peltonrades*), Fig. 116 d, ist gepaart mit dem Wasserstrahl, der diesmal nicht durch die Schwere, sondern durch die lebendige Kraft, die das zuströmende Wasser besitzt, fest an der Schaufel entlang geführt wird. Statischer sowohl, als dynamischer Kraftschluss sind also im Gebrauch. Grossartig wird ersterer im Eisenbahnwesen angewandt, da Kraftschluss zwischen Rad und Schiene die Grundlage dieses unge-

Fig. 117

Grundriss des Paddington-Bahnhofes

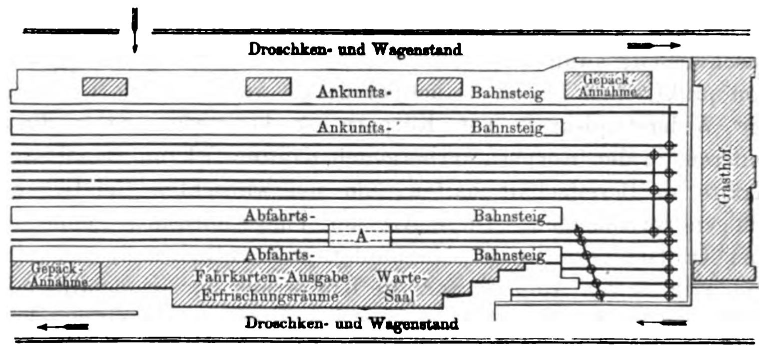
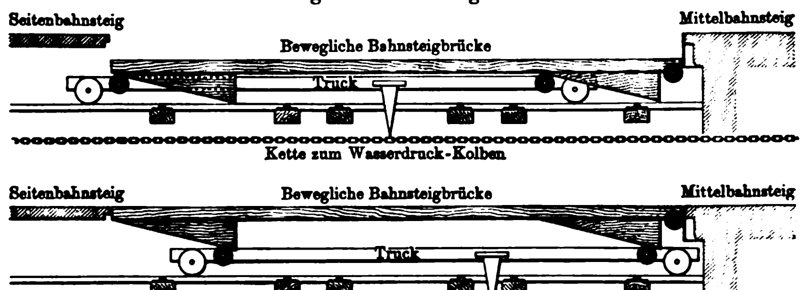


Fig. 118

Bewegliche Bahnsteigbrücke



heuren Maschinenbetriebes bildet. Als ferneres lehrreiches Beispiel sei noch**) die Bahnsteigbrücke des Paddington-Bahnhofes in London angeführt. Die Brücke A, Fig. 117, soll zeit-

*) S. Reuleaux, das Peltonrad, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1892, S. 1181, auch Konstrukteur, IV. Aufl., S. 884.

**) Nach Barry's Railway appliances, London 1890.

weilig über drei Geleise hinweg den Seiten- mit dem Mittelsteig verbinden. Die Brückenbahn, siehe Fig. 118, ruht mit keilförmigen Sohlstücken auf Rollen, die an einem Truckgestell oder Truck angebracht sind; der Truck ruht unter Vermittelung von Rollen auf einer Querbahn, die sich bis unter den Seitenbahnsteig zieht, und wird mittelst einer Kette vor- und zurückbewegt, wobei die Kette an einem klingendünnen Arm angreift. Beim Rechtsfahren treffen die Endrollen der Brückenbahn auf kurze, senkrechte Leitschienen, welche nun die Brückenplatte zwingen, auf ihren Keilsohlen aufzusteigen. Hier wirken, wie man sieht, drei statische Kraftschlüsse mit- und nebeneinander. Die vorliegende Brücke gestattet, wenn eingeschoben, den Zugang der Reisenden zu drei Zügen. Stehen auf den zu überbrückenden Geleisen besonders lange Züge, so werden diese vorher getheilt und auseinandergeschoben.

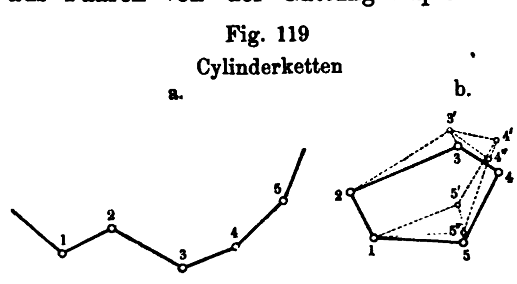
§. 33

Kinematische Ketten

Jedes der beiden Elemente eines gegebenen Paares kann mit einem Element aus einem anderen, also zweiten und dritten Paare fest verbunden werden, ohne die Beweglichkeit in den einzelnen Paaren aufzuheben. Setzt man dies fort, so entsteht eine Kette, die ich „kinematische Kette“ genannt habe.

Die fest verbundenen Elemente aus zwei aufeinander folgenden Paaren heissen „Glieder“ dieser Kette. Die Kette kann z. B. aus Paaren von der Gattung Zapfen und Lager aus Fig. 106 bestehen; diese Paare heissen Cylinderpaare Gibt man ihnen durchweg parallele Achsen, so entsteht eine Cylinderkette. Fig. 119 a stellt eine solche aus fünf ganzen und zwei halben Gliedern dar.

Fig. 119
Cylinderketten

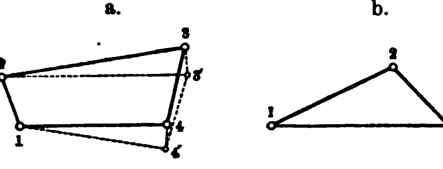


Man kann aber die Kette auch so bauen, dass sie in sich selbst zurückläuft, Fig. 119 b. Sie heisst dann eine geschlossene kinematische Kette und besteht hier aus fünf Paaren und fünf Gliedern. Untersucht man hier die Bewegung z. B. der Glieder 3.4 und

4.5 gegen Glied 1.2, so findet man, dass die Bewegungen zwar begrenzt, aber unbestimmt sind, wie die Punktirungen andeuten. Die Glieder 1.5 und 2.4 dagegen beschreiben, wie es den Paaren 1 und 2 zukommt, nur Kreisbewegungen gegen 1.2.

Gibt man derselben Kette statt fünf Glieder deren nur vier, s. Fig. 120a, so ist jedem Glied gegen jedes andere nur eine einzige Bewegung möglich; die Relativbewegungen in der Kette sind also bestimmte, gezwungene geworden, die Kette ist zwangläufig geschlossen *). Vermindert man die Gliederzahl nochmals um eins, Fig. b, so bleiben drei Glieder. Die Kette ist bei angemessenen Gliedlängen bildbar, aber wenn gebildet, unbeweglich in sich, sie ist zur Unbeweglichkeit geschlossen oder übermässig geschlossen. Hiernach kann die Kette je nach Gliederzahl und Verfahren einen von vier Zuständen haben, sie kann sein:

Fig. 120
Geschlossene Cylinderketten



ungeschlossen oder offen,
zwanglos geschlossen,
zwangläufig geschlossen,
übermässig geschlossen.

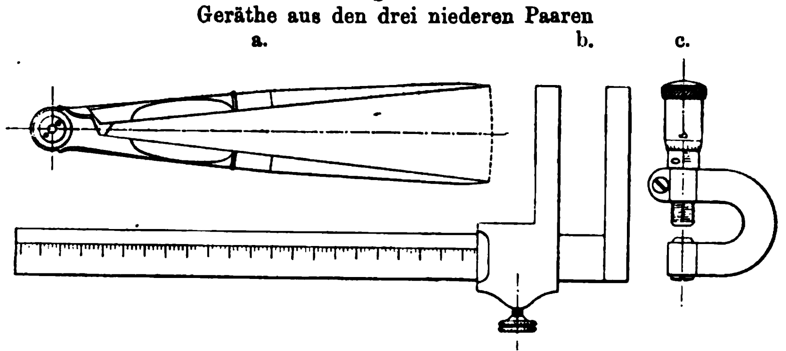
Die offene Cylinderkette dient in Maschinen als blosses Zugelement, sogenannte Gelenkkette; die zwanglos geschlossene muss bei Verwendungen erst anderweitig geschlossen werden; die zwangläufig geschlossene Cylinderkette findet ungezählte Verwendungen in den Maschinen, die übermäfsig geschlossene desgleichen, und zwar in der äusserst reichen Mechanismenklasse der Gesperrwerke; endlich wird sie auch in Bauwerken, wie Dachstühlen, Brücken, Gestellen, Pfeilern usw., in ebenfalls ungemessener Zahl der Verwendungen benutzt.

Vermindert man die Gliederzahl noch um eins, so bleiben bloss zwei Glieder übrig, die auch noch eine brauchbare Verbindung abgeben könnte, wovon später; ist dies aber wegen der ungleichen Gliedlängen unmöglich, so ist der Rest ein Elementenpaar, wir sind wieder auf der Bewegung im Paar angelangt. Auch

*) Ausführliches im ersten Bande, S. 282 ff.

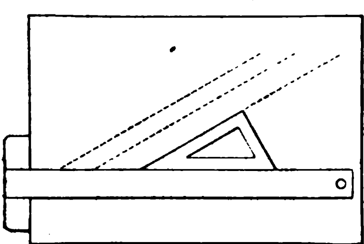
davon ist noch technischer Gebrauch zu machen, wenn man es passend einrichtet; man nennt das Paar dann ein „Geräth", auch wohl mit einem Fremdwort „Instrument". Die drei niederen Paare werden als Geräthe zum Messen vielfach benutzt, das Cylinderpaar unter Ausrüstung der Elementenfortsätze mit Spitzen als „Zirkel", Fig. 121 a, das Prismenpaar *b* als „Schublehre", das

Fig. 121
Geräthe aus den drei niederen Paaren



Schraubenpaar *c* als „Schraubkaliber". Alle drei sind jedem Techniker bekannt; die Erkenntniss aber, dass wir in ihnen die drei niederen Paare vor uns haben, ist besonders wichtig und werthvoll*). Die Reifsschiene, Fig. 122, welche, wenn mit ihrem „Kopf" an den geraden Rand des Zeichenbrettes kraftschlüssig angelegt, auf dem Brett lauter Parallelen zu ziehen gestattet, ist ein aus dem Prismenpaar abgeleitetes Geräth, ebenso das Winkelbrettchen oder der „Winkel", der wiederum kraftschlüssig an die Reifsschiene gelegt werden muss, und wiederum ebenso der Bleistift, der kraftschlüssig an die Schiene oder an den Winkel angedrückt und zugleich fortbewegt wird, um gerade Linien zu ziehen. Mit Unterarm und Händen übt der geschickte Zeichner an drei Stellen zugleich Kraftschluss und dabei an einer der drei Stellen Bewegung aus. Was das bedeutet, und was Ge-

Fig. 122
Zeichenbrett



*) Es schien nöthig, auf die Gliederzweiheit bei Paareinheit zurückzugehen, da bei patentgerichtlichen Untersuchungen die Behauptung vorgekommen ist, der „Zirkel" sei eine Maschine.

schicklichkeit und Uebung hier leisten, kann man recht deutlich erkennen, wenn man eine Liniirmaschine und deren kunstvolle und verwickelte Einrichtung, die zur Lösung derselben Aufgabe dient, näher betrachtet und mit der vorstehenden Geräthedreiheit vergleicht.

Von den Elementenpaaren gilt nun auch, was von den geschlossenen Ketten gilt: sie können auch übermäfsig geschlossen werden, ein Zapfen z. B. in sein Lager bis zur völligen Undrehbarkeit fest eingeklemmt, ein Hohlprisma absichtlich mit Hülfe einer Schraube auf einem Vollprisma unverschiebbar gemacht, wie bei Fig. 121 b, geschehen kann, usw. Auf diese Fälle kommen wir später noch zurück.

§. 34

Der Mechanismus

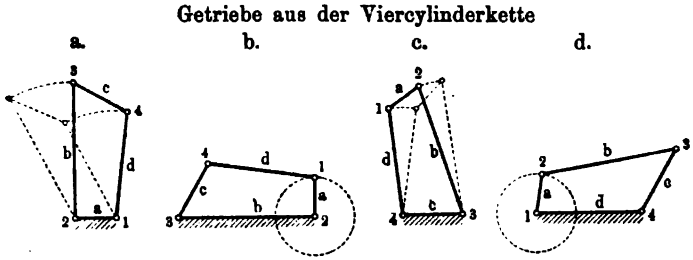
Eine gegebene, zwangläufig geschlossene kinematische Kette kann frei beweglich sein, man kann sie aber auch in einem Raumgebiete so anbringen, dass man eines ihrer Glieder darin unbeweglich macht. Geschähe dies bezüglich eines einzigen Punktes dieses Gliedes, so würden dessen übrige Punkte sich auf Kugelflächen um den festen Punkt bewegen können; geschähe es bezüglich zweier Punkte, so würde eine Achse, die durch die beiden Festpunkte geht, entstehen, um die das Glied sich drehen könnte; beide Befestigungsarten beschränken also nur die Beweglichkeit der Kettenglieder, heben sie nicht auf. Geschieht aber die Befestigung bezüglich dreier, ein Dreieck bildender Punkte des Gliedes, so wird dasselbe in dem Raumgebiet unbeweglich; wir sagen, es sei in demselben „fest aufgestellt“, oder auch: die Kette sei „auf das erwähnte Glied gestellt“. Die Aufstellung eines Gliedes einer zwangläufigen kinematischen Kette hat die Folge, dass nunmehr die Relativbewegungen der übrigen Glieder zum festgestellten zu Bewegungen in dem betreffenden Raumgebiet, oder, wie man sich wohl ausdrückt, obwohl es nicht scharf und daher nicht gerade empfehlenswerth ist, zu absoluten Bewegungen für uns werden. Hier sehen wir also ein Mittel vor uns, in dem Raumgebiet bestimmte Bewegungen zu erzielen. Eine zwangläufig geschlossene kinematische Kette, von

der ein Glied fest aufgestellt ist, nenne ich einen Mechanismus oder ein Getriebe, auch wohl einen Trieb*).

Es folgt aus Vorstehendem alsbald, dass man eine solche Kette auf so viele Arten zum Getriebe machen kann, als sie Glieder hat. Als Beispiel sei die Viercylinderkette, auch wohl Kurbelviereck genannt, aus Fig. 120a in Fig. 123 herangezogen. Wir bezeichnen

Fig. 123

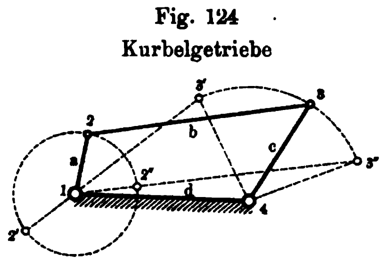
Getriebe aus der Viercylinderkette



ihre Glieder, beim kürzesten beginnend, mit *a b c d*. Dann liefert die Aufstellung auf *a*, die auf *b*, die auf *c*, die auf *d* je einen Mechanismus. Fig. 123 gibt die vier Aufstellungen unter Anschraffirung des Aufstellgliedes an; letzteres nennen wir gelegentlich auch den Steg. Bei Anwendung der kinematischen Zeichensprache, die im ersten Bande ausführlich entwickelt ist**), lassen sich die vier Getriebe ganz kurz und für den Ingenieur völlig verständlich mit wenig Buchstaben bezeichnen. Indem wir ein Cylinderpaar durch (C) ausdrücken, kann die vorliegende Kette durch (C''_4), sprich „C parallel vier", wiedergegeben und das zum Steg gemachte Glied als Exponent zugeschrieben werden (eine Schreibung, die ja auch in der Algebra „auf" bedeutet), wenn man zu ihm den Buchstaben wählt, der das Aufstellungsglied benennt. Hiernach heisst das Getriebe unter a: $(C''_4)^a$, sprich „C parallel vier auf a";

Fig. 124

Kurbelgetriebe



es ist in der Maschinenpraxis als die Kniekupplung bekannt***). Das Getriebe unter b, $(C''_4)^b$, heisst die Bogenschubkurbel. Das

---

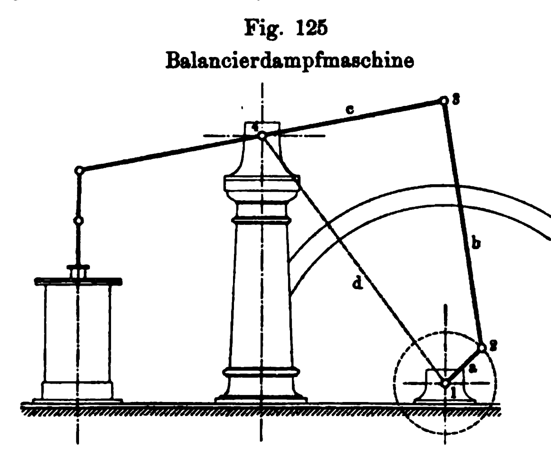
*) Vergl. erster Band, S. 50 ff.

**) Ebenda, S. 242 ff. Sie ist rasch erlernt und gestattet eine ähnliche Kürze und Sicherheit des Ausdruckes wie die chemische Zeichensprache.

***) S. z. B. Herrmann-Weisbach's Mechanik III, 1, S. 665.

dritte Getriebe, $(C_4'')^c$, heisst die schwingende Doppelkurbel und ist in Gelenkgeradführungen benutzt*). Die vierte Aufstellung, $(C_4'')^d$, liefert eine Bogenschubkurbel wie die zweite Aufstellung. Die Bogenschubkurbel erfährt zahlreiche Verwendungen bei umgetriebener Kurbel a, u. a. in der Balancierdampfmaschine Fig. 125, wobei der Balancier, in unsrem Getriebe die „Schwinge" geheissen, das Glied c, die Pleuelstange, genannt „Koppel", das Glied b, die Kurbel das Glied a und das Maschinengestell, aus Grundplatte, Säule und Lagern bestehend, das Glied d vorstellt. Beim Uebergang von dem früheren Verfahren zu dem hier vorgetragenen ist es anfänglich schwer, aber doch unerlässlich und dann sehr lohnend, den ganzen Aufbau eines Maschinengestelles als blosse Verkörperung eines einfachen Gliedes einer kinematischen Kette zu erkennen. Sehr schön hat Watt bei seinen späteren Kurbeldampfmaschinen das Aufstellungsglied als ein einziges ruhendes Baugebilde zu gestalten verstanden.

Fig. 125
Balancierdampfmaschine



Die vier Aufstellungen der Kette (C_4'') haben vier Mechanismen geliefert, zwei davon erwiesen sich als von gleicher Art; im Ganzen sind also durch die angestellte, einfache Untersuchung drei verschiedene Mechanismen herausgekommen**).

Einen Blick müssen wir noch werfen auf die Bewegungsgesetze, die in den vier Getrieben verwirklicht werden. Da die Punkte 1, 2, 3, 4 Drehpunkte sind, brauchen wir nur, einem Euler'schen Satze folgend, in Fig. 126a die Geraden 4.1 und 3.2 bis zum Schnitt in P zu verlängern, um in diesem Punkte einen Pol für die augenblickliche Drehung von c gegen a, aber zugleich auch für die augenblickliche Drehung von a gegen c zu erhalten.

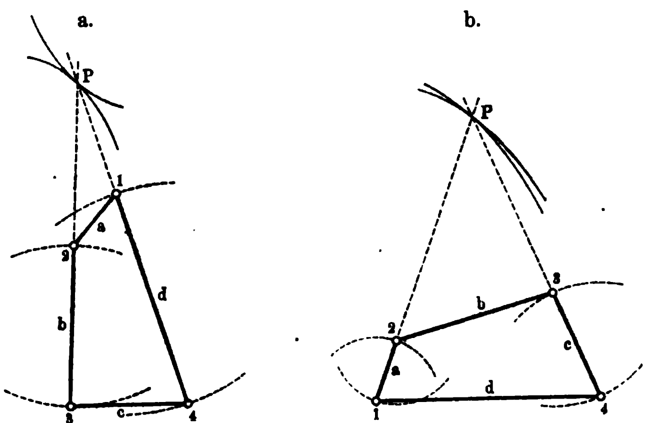
*) Vergl. Fig. 129 und 130.

**) Ausführliches über die besonderen anderen Arten, Bd. I, S. 282.

Die Relativbewegungen von *d* und *b* ergeben sich ähnlich durch Verlängerung der Geraden 4.3 und 1.2 bis zum Schnitt *P*, Fig. 123 b. Führt man eine genügend grosse Reihe von Aufsuchungen der Pole aus, so erhält man in beiden Fällen, unter a wie unter b, je ein Polbahnenpaar*); bei Rollung dieser Polbahnen aufeinander erlangt man einen vollständigen Ueberblick über die verschiedenen Bewegungen in den vier Getrieben. Wir sind also hier wiederum auf Polbahnen gestossen, aber es ist mit ihnen anders, als im ersten Abschnitt. Dort nahmen wir die

Fig. 126

Pole im Kurbelgetriebe



Bewegungsgesetze als gegeben, oder auch schon die Polbahnen selbst als Ausdrucksformen dieser Gesetze an, und untersuchten dann die Relativbewegungen. Hier dagegen ist Bewegungszwang, Zwanglauf, durch die Gliederung geliefert und wir suchen, indem wir die Polbahnen dazu ermitteln, das dem Zwanglauf jedesmal unterliegende Gesetz. Damals haben wir uns nicht darum bekümmert, wie die Rollung der Kreise, die die Cykloiden lieferten, zu Stande kam — wir werden das weiter unten noch zu thun haben; — wir haben nur einfach angenommen, dass die Kreise rollten. Hier ist es ganz anders; hier ist entweder das Zustandekommen, oder aber das Zustandebringen der Rollung das erste; d. h. es kann das Getriebe gegeben und seine Rollweise zu bestimmen sein, oder es kann das Bewegungsgesetz vorgeschrieben,

*) S. Ausführliches im ersten Band, S. 72, vergleiche hierzu auch unten S. 184.

also die Rollung gegeben und der Zwanglauf, der sie herbeiführt, zu ermitteln sein.

Hier ist auch der Punkt, wo die grössten Missverständnisse eingesetzt haben. Weil nämlich die Bewegungen in vielen Getrieben und Maschinen sich phoronomisch darstellen lassen, haben Manche geglaubt, die Zwanglauflehre sei Geometrie, während sie ein Zweig der Mechanik ist. Der Irrthum ist ebenso gross wie der sein würde, den Lauf der Gestirne für Geometrie zu halten, weil er sich geometrisch, phoronomisch darstellen lässt und z. B. durch Kepler in so hoher Vollkommenheit geometrisch dargestellt worden ist. Aber den Gestirnbewegungen liegt mechanische Verursachung zu Grunde, und zwar ist diese Verursachung eigentlich sehr verwickelt, wie die zahlreichen sogenannten Störungen beispielsweise der Mondbahn zeigen; grossartige Arbeiten voll Scharfsinn und ausserordentlicher Sorgfalt haben angestellt werden müssen, um die nicht vernachlässigbaren Abweichungen von der Hauptbewegung zu erklären und vorauszubestimmen, alles Himmelsmechanik. An manchen Stellen tritt sogar die Himmelsgeometrie mit ihrer Hülfeleistung so weit zurück, ist die analytisch-mechanische Behandlung so sehr im Uebergewicht, dass man auf die geometrische Darstellung fast ganz verzichtet; dies drückt sich schon in der Bezeichnung „Störungen“ aus.

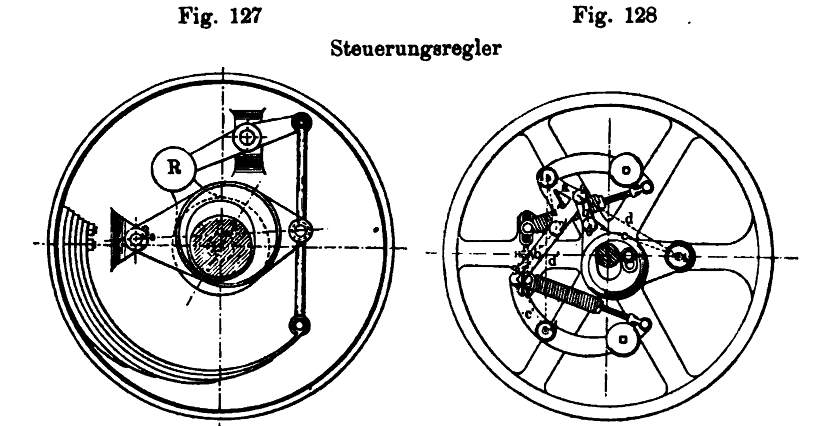
In den Maschinenbewegungen dagegen fallen, abgesehen von Annäherungen, die man sich gefallen lässt, die man aber um so weiter zurückdrängt, je vollkommner man baut und bauen lernt, diese Abweichungen weg. Jahraus, jahrein, in Millionen von Umläufen, vollziehen sich in der Maschine, eben wegen des mechanisch herbeigeführten Zwanglaufes, ganz dieselben Bewegungen in steter Wiederholung, rollen Polbahnen um von derselben Gestalt und Grösse, und die Darlegung, wie dies erzwungen wird, ist Gegenstand, oder wie sie erzwungen werden kann, ist Aufgabe der Kinematik. Was die Phoronomie voraussetzt, das liefert, das schafft wissenschaftlich erst die Kinematik oder Lehre vom Zwanglauf.

Was aus unsrer kurzen Betrachtung der Kurbelgetriebe als besonders wichtig hervorgeht, ist, dass die vier Mechanismen Bewegungen ihrer Theile ergeben, die durchaus bestimmt sind. Es wird nothwendig sein, noch einige andere Beispiele von Getrieben kurz zu behandeln, um diesen Punkt ganz scharf erkennbar zu machen.

In dem Sweet'schen Steuerungsregulator oder Steuerungsregler*) für Dampfmaschinen, der je nach dem Kraftbedarf das Steuerungsexzenter einstellt, Fig. 127 ist 1. 2. 3. 4 ein Kurbelgetriebe von der Form $(C''_4)^d$, das bei Verstellungen des Schleuderblockes *R* auf den Exzenterträger, die Schwinge *c* des Getriebes, einwirkt. Soll noch in der Formel angegeben werden, welches

Fig. 127 Fig. 128

Steuerungsregler



Glied das treibende, das kraftaufnehmende ist, so können wir das ganz gut thun, indem wir schreiben $(C''_4)\frac{d}{a}$, sprich „*C* parallel vier auf *d* [getrieben] durch *a*". Die der Fliehkraft entgegenwirkende Federpressung greift am Gliede *b* an. Etwas ist noch hervorzuheben, nämlich wie wichtig es für unsre Aufgaben war und durchweg ist, von der Relativbewegung zu sprechen, von der Bewegung in einem Raumgebiet. Denn wir finden hier bei Sweet das vierte Glied *d* der Kette nicht gegen uns, nicht gegen den Maschinenrahmen festgestellt, sondern gegen das sich drehende Rad, das auf der Kurbelwelle der Dampfmaschine sitzt, haben aber gerade dadurch eine grosse Einfachheit in der Uebersicht erlangt.

In dem mit dem Sweet'schen nahe verwandten Weston'schen Steuerungsregler, Fig. 128, sind zwei Schleuderböcke einander

---

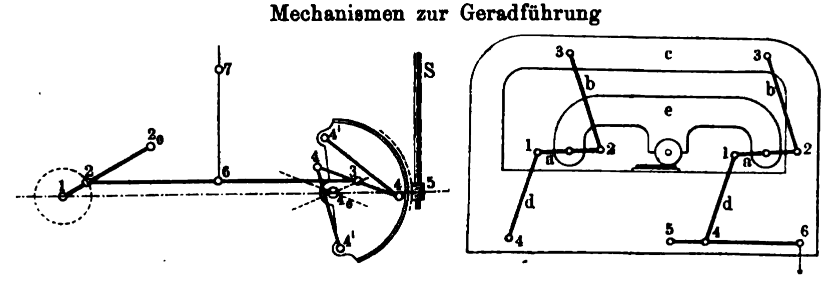
*) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 951. Man nennt bei uns die Gangregler der vorliegenden Art Achsenregulatoren, was sprachlich nicht gerade glücklich ist, da die Achse nicht „regulirt" wird, der Gebrauch ist aber vorhanden. „Steuerungsregler" drückt allgemein aus, dass die Vorrichtung auf die Steuerung der Maschine einwirkt, was sehr wichtig ist. Vergl. auch S. 182.

gegenüber angebracht, um zu verhüten, dass die sehr rasch umlaufende Achse unfrei werde. Es sind deshalb auch zwei Kurbelgetriebe zur Uebertragung der Fliehkraft angewandt. Das eine, in der Figur zu oberst gelegene, ist wie das vorige $= (C_4'')\frac{d}{a}$, das andere $= (C_4'')\frac{d}{c}$ *); letzteres übergibt seine Wirkung zunächst an die Kurbel *a* des erstgenannten Getriebes und dann durch dessen Vermittlung an den Exzenterträger. Die Widerstandsfeder greift in beiden Getrieben an dem Gliede an, welches den Schleuderblock trägt.

Ein weiteres Beispiel bietet die Ångström'sche Dampfmaschinensteuerung, die Fig. 129 versinnlicht. Hier ist bei 4.4′.4.4′ ein Kurbelgetriebe von der Form $(C_4'')^c$, worin $d = b$, zur Geradführung des Punktes 3 des Gestänges benutzt. Die Abhängigkeit der Bewegung der Glieder ist nun die, dass sich der Mittelpunkt 3 des Gliedes *a* geradlinig gegen *d* bewegt; die Richtung der geraden Bahn ist von entscheidendem Einfluss auf die Bewegung der Schieberstange bei 7 und wird von *S* aus dadurch verstellt, dass man den Träger des Gliedes 4′.4′ oder *d* verdreht; wiederum handelt es sich um die Relativbewegung des Punktes 3 gegen

Fig. 129 Fig. 130

Mechanismen zur Geradführung



die halbrunde Scheibe, nicht gegen das Maschinengestell, ganz ähnlich wie vorhin. Fig. 130 zeigt zwei (doppelte) Benutzungen derselben Geradführung, die wir soeben angewandt fanden, wie sie **) bei einem Rollungsprägewerk oder einer Rollpräge ***) in der Bank von England angewandt wird. Viermal ist der Mecha-

*) In anderen Ausführungen der Weston'schen Maschine findet sich auch hier $(C_4'')\frac{d}{a}$.

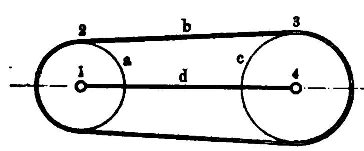
**) Nach Goodeve, Elements of mechanism, V. Aufl., S. 191.

***) Bei uns Molettirmaschine genannt; das Molettiren ist durch die Galvanoplastik fast ganz verdrängt worden.

nismus $(C''_4)^c$ hier zur Geradführung des Pressbalkens *e* benutzt; bei 6 kann nachgepresst, jedenfalls aber belastet werden. Bei Sweet und Weston diente das Getriebe zur Ueberleitung von Kraft, bei Ångström und dem Rollprägewerk zur Führung in gewissen Bahnen.

Führt uns so die Mechanismenbildung eine Reihe werthvoller Zwangläufe zu, so macht sie zugleich klar, dass dafür die zwangläufige Zusammenschliessung der Elementenpaare zu kinematischen Ketten eine Nothwendigkeit ist. Es könnte den Anschein haben, als eigne sich hierzu der Kraftschluss oft nicht, wie z. B. bei den Zugelementen, weil dort in dem Falle von Fig. 116 nicht nur zwei Kraftschliessungen erforderlich waren, sondern auch noch die Richtung des Zugseiles, an dem etwa Muskelkraft angriff, noch vom Willen abhieng. Indessen kann allen diesen Unsicherheiten gleichzeitig abgeholfen werden, nämlich dadurch, dass man zwei der Einrichtungen einander entgegenstellt und jede den Schluss der gegenüberstehenden bewirken lässt; hierdurch wird Kraftschluss zum Paarschluss. Fig. 131 stellt hierzu ein wichtiges, obwohl einfach aussehendes Beispiel dar. Es sind hier zwei Zugelemente, die wie in Fig. 107 durch sogenannte Treibung mit starren Drehkörpern gepaart sind gegeneinander gestellt und zu einem einzigen Zugelement vereinigt; auch sind die konaxialen Zapfen der Drehkörper mit Lagern versehen gedacht und letztere zu einem starren Körper vereinigt angenommen. Stellen wir diesen Körper als Steg fest und bewirken das Anhaften des Zugelementes, das wir bandartig gestalten, durch entsprechende Anspannung und daraus hervorgehende Reibung, so erhalten wir den Riemenmechanismus oder — vergl. S. 169 — kürzer das Riemengetriebe, oder noch kürzer den „Riementrieb“. Dieser ist ein Mechanismus, gebildet aus einer viergliedrigen Kette, bestehend aus zwei Riemscheiben*)

Fig. 131
Riemenmechanismus



*) „Riem“ und „Riemen“ sind beides richtige Formen des Wortes (s. Weigand, Deutsches Wörterbuch), weshalb die gebräuchliche und wohlklingende Form „Riemscheibe“ der schwerfälligen „Riemenscheibe“ vorzuziehen ist; überdies macht die letztere Form die feste Verbindung von Grund- und Bestimmungswort nicht deutlich.

a und *c*, dem Riemen *b* und dem Lagergestell *d*, auf welches letztere die Kette gestellt ist. Hier sei eingeschaltet, dass in unsren Fabriken mit Deckentriebwerk, von dessen Riemscheiben so und so viele Riemen herab zu den Arbeitsmaschinen gehen, für den Anfänger die Vorstellung sehr schwer ist, dass das Gebäude, die Balkendecke, der Boden, das Gestell der Arbeitsmaschine zusammen den schlichten festen Steg aus Fig. 131 vorstellt. Die Drehkörper noch mit R bezeichnend und den Riemen mit T, insbesondere mit $T^{\pm}$, weil Auf- und Abwicklung zugleich geschehen, kann man das Getriebe schreiben: $(C_2'' R_2'' T^{\pm})^d$. Diese kinematische Anschreibung des Riementriebs ist selten nöthig. Der in dem Mechanismus gegebene Zwanglauf hat die bekannte Folge, dass sich die gleichzeitigen Drehungen n und n_1 der beiden Riemscheiben verkehrt verhalten wie deren Halbmesser, gemessen bis zur Riemenmitte, $n_1 : n = R : R_1$.

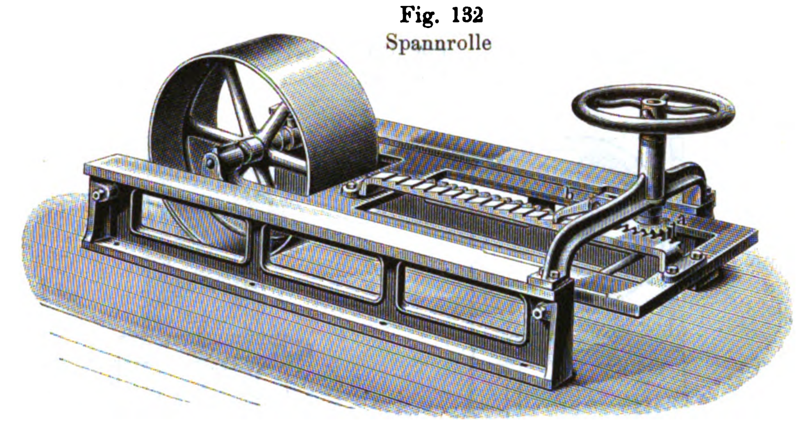
Es könnte pedantisch erscheinen, dass ich so genau der Bildung des, jedem Techniker so geläufigen Riementriebs gefolgt bin. Aber letzteres musste hier, wo es sich um Klarlegung eines wichtigen Begriffes handelt, doch geschehen. Denn 1) hat sich geschichtlich der Riementrieb sehr langsam entwickelt, indem man zu Anfang das Haften auf den schlecht gerundeten Drehkörpern nur bei mehrfacher Umschlingung und daher nur mit Schnüren und Seilen herausbrachte; 2) tritt ungemein deutlich gerade in der Reibungsfrage zu Tage, dass die Mechanik einen sehr wesentlichen Antheil an der kinematischen Verkettung hat; 3) ist die Aufgabe, den Riemen ganz angemessen anzuspannen, nicht zu wenig, aber auch nicht zu viel, neuerdings sorgfältiger als je zuvor erwogen worden, namentlich bei den Dynamomaschinen, und hat zur Ausbildung besonderer Mechanismen zum Anspannen des Riemens geführt.

Zwei derselben stellen die folgenden Figuren dar; beide Bauarten rühren von A. und F. Brown in Neuyork her. Die benutzten Mechanismen sind nicht wie die obigen Kurbelgetriebe viergliedrig, sondern nur dreigliedrig, haben also die kleinste mögliche Gliederzahl einer kinematischen Kette. Im ersteren Falle sind die beiden verzahnten Körper beweglich, im zweiten einer derselben feststehend; es ist also im zweiten Falle aus derselben kinematischen Kette ein anderer Mechanismus gemacht *).

*) Sogenanntes Umlaufgetriebe.

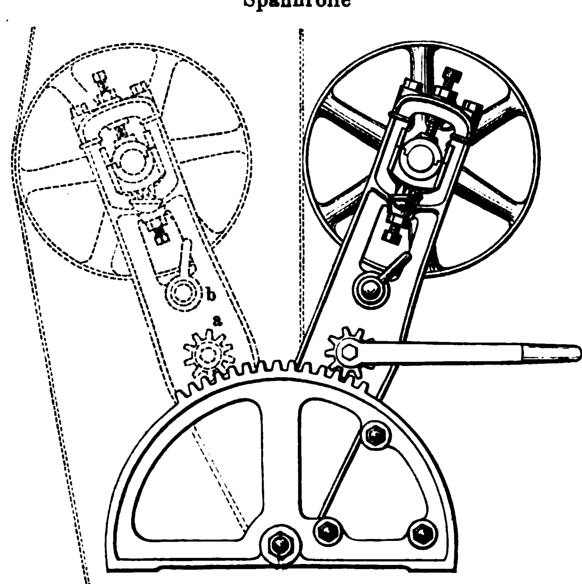
Jede Bewegung des Zahnrädchens *d* hat eine Verstellung des Spannrollenträgers zur Folge. Die Sperrklinke *b* dient beidemale

Fig. 132
Spannrolle



dazu, den Rollenträger an seiner Stelle zu halten, wenn keine treibende Kraft mehr an *d* angreift; das Gesperre ist ein zweiter, ein Hülfsmechanismus.

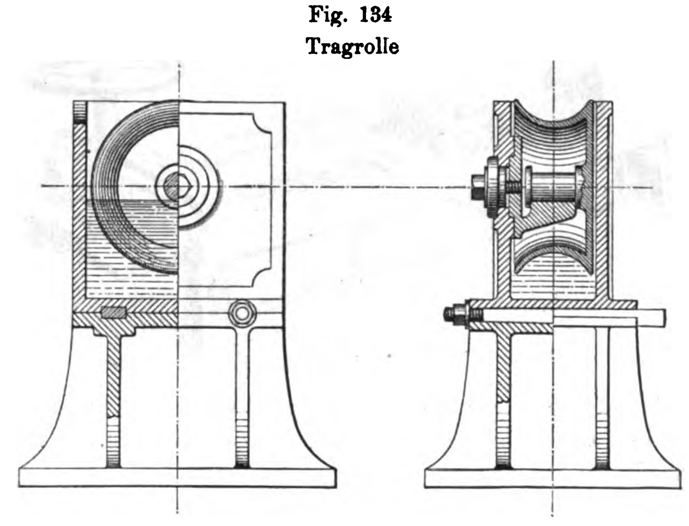
Fig. 133
Spannrolle



Noch bleibt die Spannrolle selbst zu erwähnen. Sie gehört zum Riementrieb und bildet mit ihrer Lagerung und dem Riemen

zusammen einen besonderen, dreigliedrigen Mechanismus, ganz ähnlich wie die folgende Rolle zum Tragen einer waagerechten Kolbenstange, Fig. 133, nach Musgrave'scher Bauart; hier habe ich

Fig. 134
Tragrolle



die letztere nur dahin abgeändert, dass ich die Rolle mit der von mir angegebenen Schirmnabe und entsprechender Lagerung versehen habe. Die verschraubten Keile am Lagerfuss bilden einen Stellmechanismus, der hier zu beachten ist; denn er entspricht theoretisch genau den Zahnradgetrieben der vorigen beiden Fälle.

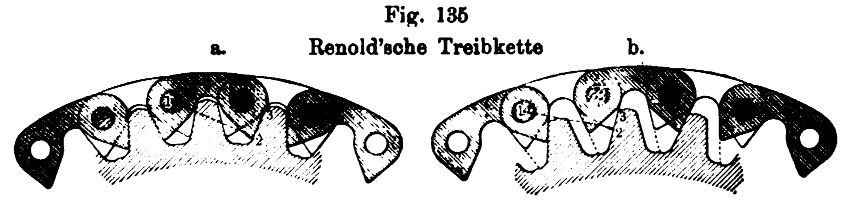
Wenn das Zugelement in Fig. 131 eine Kette ist, die in Zahnlücken eingreift, so heisst der Mechanismus ein Kettentrieb. Dieser hat in neuerer Zeit grossen Aufschwung genommen vermöge seiner Verwendung bei den Fahrrädern und ist dabei noch sehr entwickelt worden. Sein schlimmster Fehler war, und ist vielfach noch heute, die Längung der Kettenglieder, die in Folge der Abnutzung der Gelenke eintritt und allmählich den richtigen Eingriff stark beeinträchtigt. Diesem letzteren Uebelstande ist wirksam begegnet in der Renold'schen Bauart*) der Treibkette. Ihren Eingriff stellt Fig. 135 links für den neuen, rechts für den stark, ja sogar übertrieben gelängten Zustand der Kette dar. Das Wesen der sehr beachtenswerthen Erfindung besteht darin,

*) Hans Renold, Chain Manufacturer, Manchester. Der Renold'sche Kettentrieb ist auch in Deutschland patentirt.

dass nicht, wie üblich, die Bolzen, sondern die Gliedplatten von den Radzähnen gefasst werden und die Gliedstirnen sowohl als die Radzähne geradlinig profilirt sind, und zwar mit solcher Schrägung, dass der Strahl 1.2 vom Drehpunkt zur Gliedspitze mit der Zahn-

Fig. 135

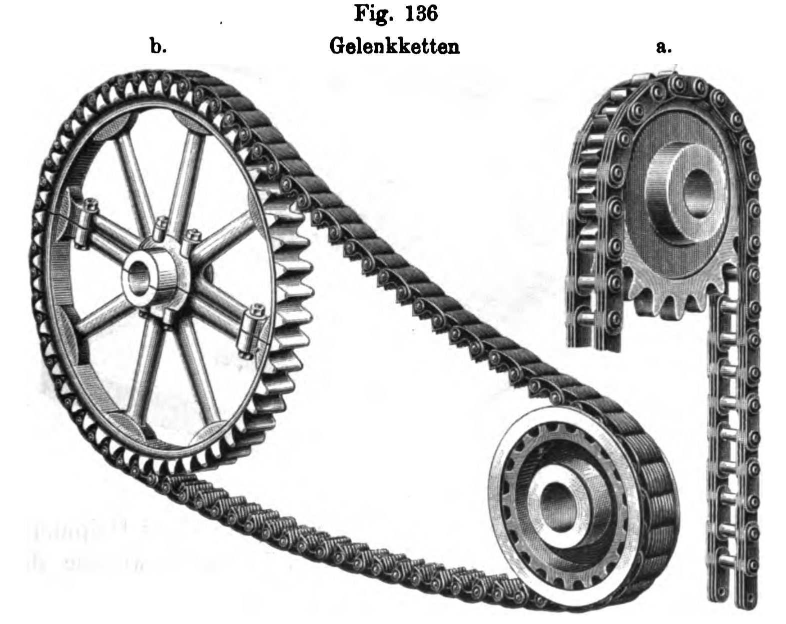
a. Renold'sche Treibkette b.



flanke 2.3 nach aussen mindestens einen rechten Winkel einschliesst. Das Glied tritt demzufolge an den Ein- und Austrittstellen leicht in und ausser Eingriff und hat mit seiner flachen Stirn stets Flächenberührung mit der Zahnflanke, nicht Linienberührung, wie der Bolzen bei der alten Bauart. Fig. 136 zeigt die neue neben der alten Galle'schen Kette; die Renold'sche ist eine wahre Zahnkette. Ihre Kettenglieder steigen bei eintretender Längung von selbst allmählich nach aussen, wie Fig. 135 deutlich

Fig. 136

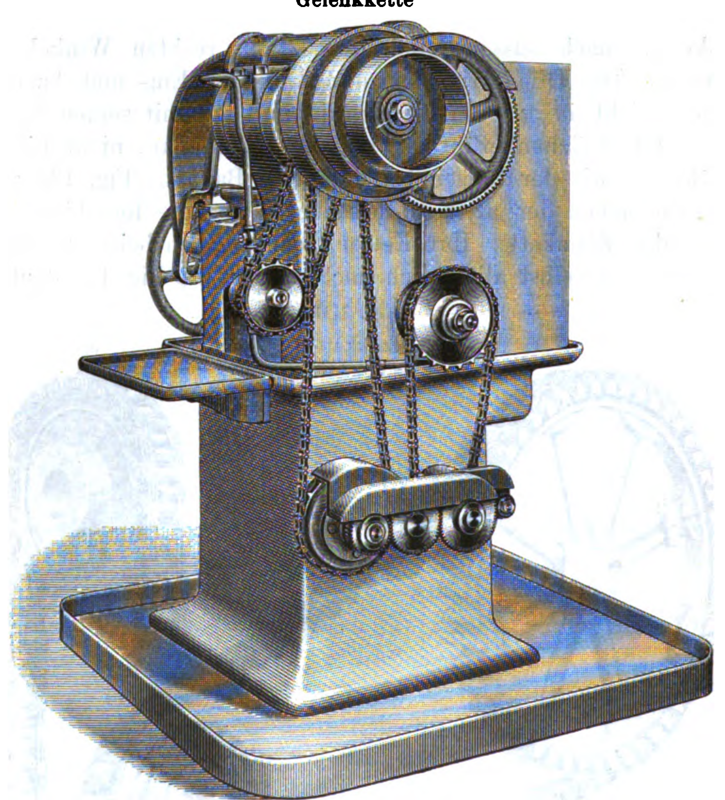
b. Gelenkketten a.



zu machen bestimmt ist, geradeso, als wäre auch der Radhalbmesser entsprechend gewachsen, mit ihm die Zähne, wie die

Punktirung unter *b* andeutet. Demzufolge treten Störungen durch die Längung nicht ein und es bleibt das Uebersetzungsverhältniss der beiden Räder nach wie vor genau gleich dem umgekehrten Verhältniss ihrer Zähnezahlen *). Der Kettentrieb hat sich in den letzten Jahren ausserordentlich verbreitet; man verfügt jetzt über mehr als ein Dutzend gut durchgearbeiteter Bauarten und wendet auch die Kette weit mehr in allerlei Maschinenbetrieben an, als früher. Die folgende Figur zeigt ihre Anwendung an

Fig. 136 c.
Gelenkkette

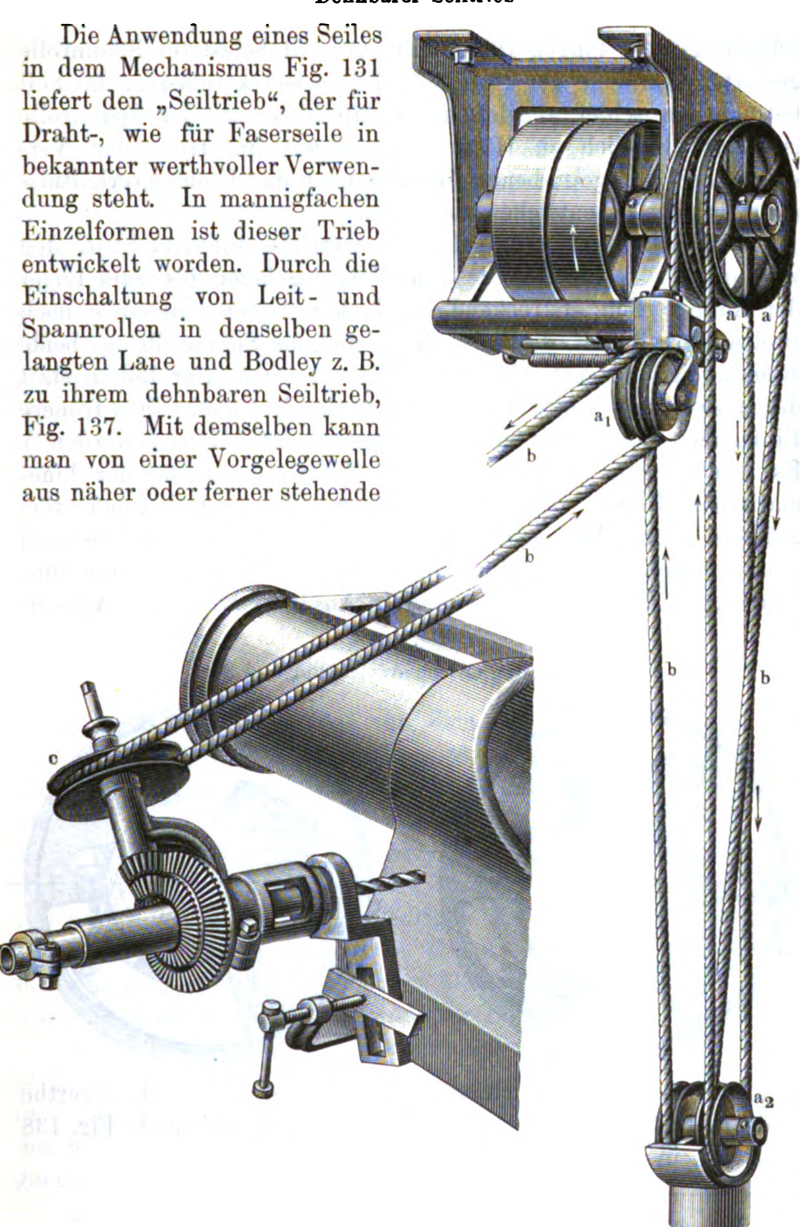


einer Fräsmaschine, wo sie sowohl zum Betrieb einer Oelpumpe, als auch zur Speisung, d. i. Vor- und Rückwärtsbewegung des Tisches dient.

*) Sehr gute Gelenkketten für eine Reihe von Zwecken liefert die Fabrik von A. Stotz, Stuttgart.

Fig. 137
Dehnbarer Seiltrieb

Die Anwendung eines Seiles in dem Mechanismus Fig. 131 liefert den „Seiltrieb", der für Draht-, wie für Faserseile in bekannter werthvoller Verwendung steht. In mannigfachen Einzelformen ist dieser Trieb entwickelt worden. Durch die Einschaltung von Leit- und Spannrollen in denselben gelangten Lane und Bodley z. B. zu ihrem dehnbaren Seiltrieb, Fig. 137. Mit demselben kann man von einer Vorgelegewelle aus näher oder ferner stehende

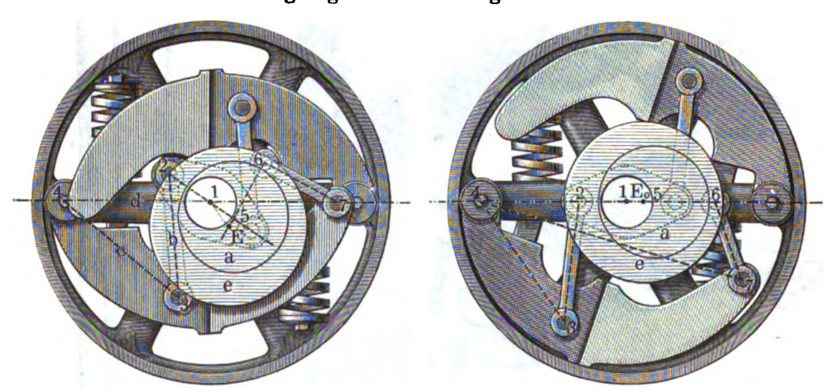


Scheiben treiben; in unsrer Figur handelt es sich um Bohrerbetrieb. Die beiden treibenden Scheiben a sind fest verbunden, bilden also eine einzige Scheibe mit zwei Rillen, die die Einschaltung eines langen Hängeseiltrums mit belasteter Spannrolle gestatten; vermöge der Tiefe aller Rillen ist es zulässig, das Seil beträchtlich schief abzuleiten. Kraftschluss an der Spannrolle ist hier glücklich zu Hülfe genommen, um trotz der Verstellbarkeit der getriebenen Welle immer das Umlaufsverhältniss $n_1 : n = R : R_1$ entstehen zu lassen.

Wir sehen im vorangehenden Getriebe auf dem Steg, den wir uns als festes Gebilde vom Vorgelegelager bis zum Lager der Rolle c sich erstreckend zu denken haben, ausser c noch zwei weitere Rollen, die Leitrolle a_1 und die Spannrolle a_2, beide zweikimmig, gelagert; der Steg trägt also nun vier Rollen statt deren zwei; die Kette besitzt demnach nicht mehr ihre frühere Einfachheit, sondern ist eine „zusammengesetzte“ Kette geworden *). Es leuchtet ein, dass man durch Zusammensetzung der kinematischen Ketten deren Bewegungsreichthum bedeutend vergrössern kann. Das geschieht dann auch vielfach. Als Beispiel kann uns sehr gut der Steuerungsregler von Armington und Sims dienen, nach der S. 172 erwähnten Ausdrucksweise ein Achsen-

Fig. 138

Steuerungsregler von Armington und Sims

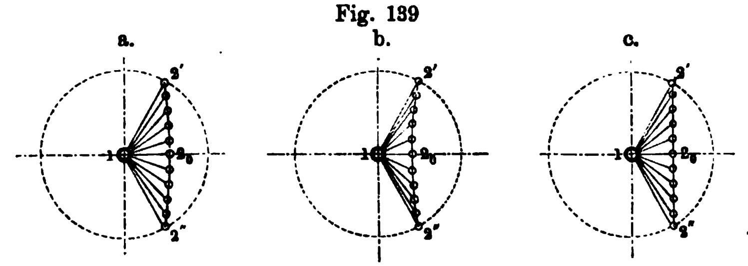


regulator für Dampfmaschinen, der sich durch bemerkenswerthe Gedrängtheit bei grossen Schleuderblöcken auszeichnet. Fig. 138 stellt ihn in zwei Stellungen dar.

*) S. erster Band, S. 53 u. 575.

Der Exzenterträger wird auch hier, wie oben (S. 172) bei Sweet und Weston, vermittelst eines Kurbelgetriebes verstellt, aber um eine geometrische Achse, die mit derjenigen der Schwungradwelle zusammenfällt; es dient dazu das doppelt angebrachte Getriebe $(C''_4)^{\frac{d}{c}}$ (vergleiche die Balanciermaschine Fig. 125); kraftaufnehmend ist die Schwinge c, indem sie als Schleuderblock ausgebildet ist. Wollte man das Exzenter 5 einer Dampfmaschine behufs Expansionsänderung bloss bezüglich des Voreilwinkels um die Achse verstellen, so würde man zu sehr schlechten, ja unbrauchbaren Verhältnissen gelangen; das Exzentermittel soll vielmehr auf einer Linie verstellt werden, die sich einer Sehne des Kreises $2' 2''$ anschmiegt, oder damit zusammenfällt, wie Fig. 139 angibt*). Hier handelt es sich nicht um Umsteuerung, weshalb die Mittelpunktskurve bloss von $2'$ bis 2_0 gebraucht wird. Armington und Sims haben die Form unter b erzielt. Auf dem Exzenter 1.5 sitzt

Fig. 139



nämlich ein zweites 5.6, das von dem einen Schleuderblock aus mittelst des Lenkers 6.7 verstellt wird, wobei der Mittelpunkt des Exzenters aus seiner Anfangslage E bis in seine innerste Lage E_0 gelangen kann. Die ganze Kette hat nun, abgesehen von der Verdopplung, sieben Cylinderpaare; zwei von ihren fünf Gliedern, d und a, sind dreielementig, die andern drei, b, e und f, zweielementig. Mit einer fünfgliedrigen Kette ist also die sehr schwierige Aufgabe, den Punkt E auf der erwünschten Kurve fortschreiten zu lassen, gelungen. Die hier gelöste Aufgabe war: Führung eines Punktes in bestimmter Bahn, wovon unten mehr.

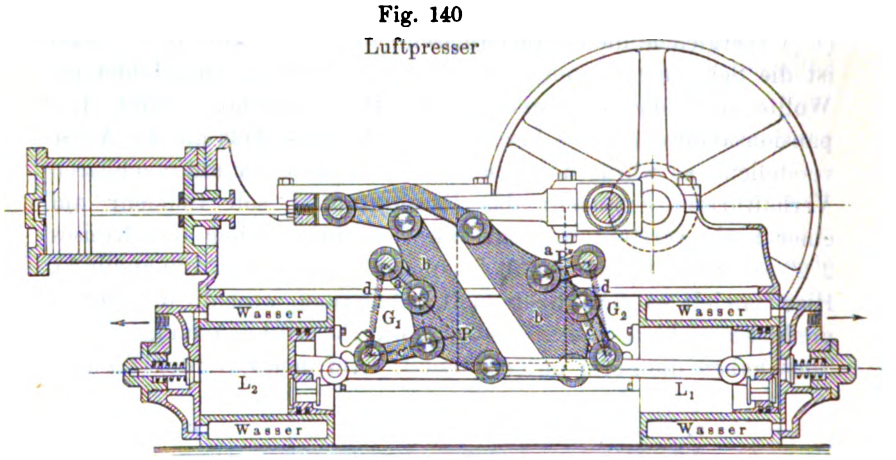
Eine andere Benutzung der zusammengesetzten Cylinderkette zeigt der Luftpresser der Neuyorker „Airbrake Company", Fig. 140 (a. f. S.). In dem Dampfcylinder ist die Fludspannung am Anfang des Kolbenlaufs gross, am Ende klein, in den Luftcylindern umgekehrt, was bei unmittelbarer Verbindung der beiden Kolben ein

*) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 950 ff.

grosses Schwungrad zur Ausgleichung erfordert. Hier wird die Bewegung von Kolben zu Kolben durch zwei Kurbelgetriebe G_1 und G_2 vermittelt. Sie sind von der Form $(C_4'')\frac{d}{b}$, indem ihre

Fig. 140

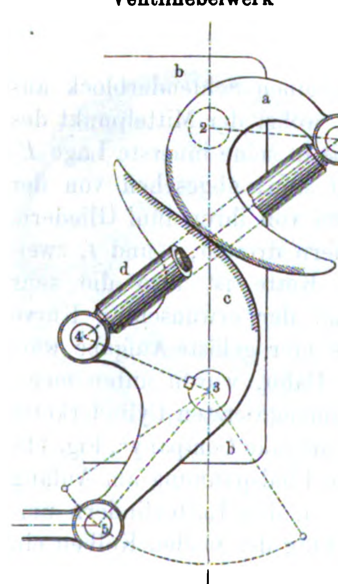
Luftpresser



Koppeln b am oberen Ende vom Dampfkolben, am untern von dem Luftkolben angegriffen werden. Die Kolbenschnellen oben und unten verhalten sich verkehrt wie die Lothe, die aus den Polen P' und P'' auf die Kraftrichtungen der Kolben gefällt werden. Im Getriebe G_2 liegt der Pol P'' bei dem dargestellten Hubbeginn hoch; danach fällt nun die Kolbenschnelle in L_2 hoch aus. Sie wird sich vermindern bis auf die, welche der niedrigen Lage P' bei G_1 jetzt entspricht. Wir sehen, wie zum Untersuchen der Verhältnisse die Aufsuchung der Pole im Kurbelviereck schnelle und treffliche Dienste leistet.

Fig. 141

Ventilhebelwerk



Dass auch die Aufsuchung der Polbahnen im Kurbelgetriebe praktische Anwendung findet, zeigt das Hebelwerk der Ventile am Norwalkschen Luftpresser, s. Fig. 141. Hier ist das Getriebe $(C_4'')\frac{d}{c}$ benutzt, dessen

Schwinge *c* durch ein Exzenter hin und her bewegt wird, um die Achse 2 ein Ventil betreiben zu lassen. Damit nun das als Koppel dienende, federnde Glied *d* stets auf Zug beansprucht werde, es demzufolge die Zapfen 1 und 4 nur einseitig belaste, sind Abschnitte des Polbahnenpaares von *a* und *c* als Daumenprofile ausgeführt. Sie drücken aufeinander ohne zu gleiten, da ja die Polbahnen reine Rollbewegungen haben, können also bei guter Härtung ohne Abnutzung arbeiten. Die Daumen sind als besonderes Elementenpaar anzusehen, entsprechend einer theilweis ausgeführten höheren Paarung zwischen *a* und *c*.

Fig. 142

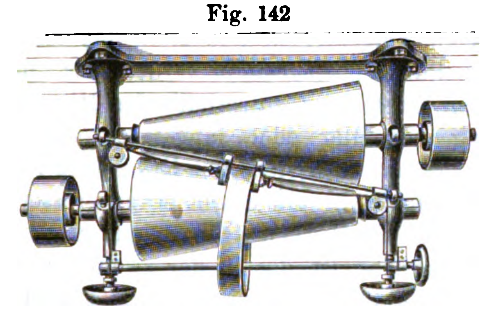
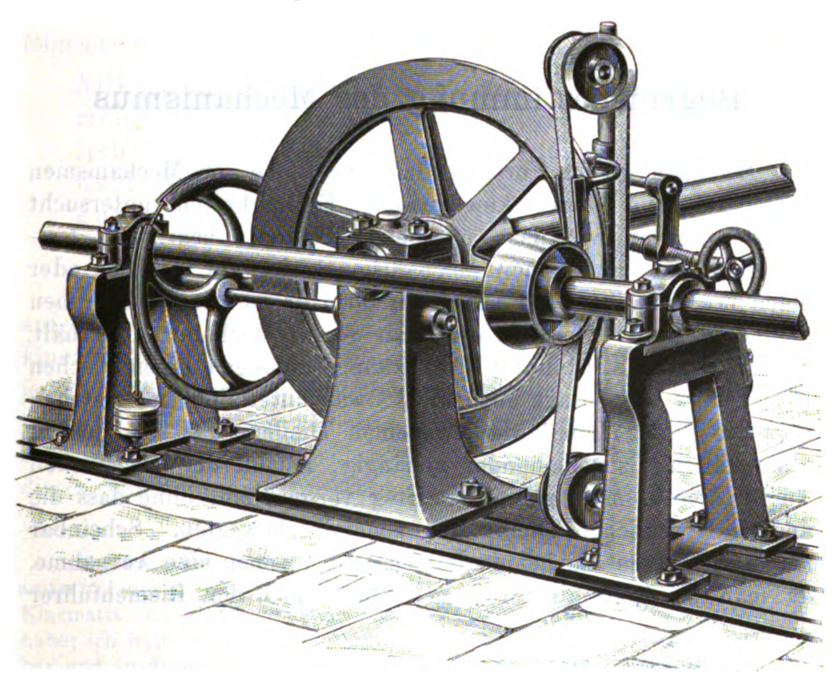


Fig. 143

Wechselgetriebe von Escher Wyss & Cie



Mechanismen mit veränderbarem, verstellbarem Schnellenverhältniss nennen wir Wechselgetriebe; zwei derselben seien noch kurz besprochen. Fig. 142 (a. v. S.) zeigt das jetzt oft verwandte Evans'sche Wechselgetriebe. Ein zäher, fester Lederreif ist zwischen zwei Kegeltrommeln eingeklemmt und kann den Kegelkanten nach an beliebigen Punkten eingestellt werden. Er überträgt darauf je nach seiner Einstellung ausserhalb der Mitte die eingeleitete Drehbewegung schneller oder langsamer auf die getriebene Welle. Streng genommen besteht der Evans'sche Ring aus zwei Reibrädern, einem Hohlrade und einem etwas grösseren Vollrade. Kraftschluss sichert die Bewegungsübertragung.

Ein ähnliches Wechselgetriebe ist das in der zweiten Figur abgebildete, das neuerdings an Papiermaschinen benutzt wird *). Hier sind auch zwei Kegel, und wiederum gegeneinander stehend angewandt, aber bei rechtwinkligen Achsen, zwischen denen als Bewegungsübertrager diesmal ein von zwei Rollen gehaltener Riemen eingestellt wird. Das Getriebe wird als recht brauchbar bezeichnet.

§. 35

Begriffsbestimmung des Mechanismus

Nachdem wir im Vorstehenden eine Reihe von Mechanismen betrachtet und deren kinematische Eigenschaften untersucht haben, werden wir dazu übergehen können, begrifflich festzustellen, was man einen Mechanismus oder ein Getriebe oder einen Trieb nennt. Zwar haben wir oben im vorigen Paragraphen gefunden, auf welche Weise man einen Mechanismus erhält, nämlich durch Aufstellung einer zwangschlüssigen kinematischen Kette; aber das besagt noch nicht, was unter ihm zu verstehen ist. Die Bewegungen zwischen seinen Theilen erwiesen sich in allen Fällen als voneinander abhängig, keinen der beweglichen Theile konnte man gegen den Steg verschieben, ohne dass die andern beweglichen Theile sich ebenfalls bewegten. Scheinbar machten hiervon die beiden letzten Mechanismen eine Ausnahme, da man bei Ruhe aller sonstigen Theile doch den Riemenführer

*) S. Hofmanns Papier-Zeitung 1896, Nr. 68.

verschieben konnte; aber damit geschah eine Umgestaltung, man könnte sagen ein Umbau des Aufstellungsgliedes oder Steges und damit auch eine Umgestaltung des Getriebes; sobald es wieder fertig war, trat die Abhängigkeit aller inneren Bewegungen auch wieder ein. Wir fanden zugleich einen Unterschied zwischen mehreren Mechanismen. Wir bemerkten nämlich, dass die Bewegungen das einemal benutzt werden, um gewissen Punkten gewisse Bahnen anzuweisen, das anderemal, um gewissen Punkten gewisse Schnellen zu ertheilen. Ob aber das Eine oder das Andere in der Vorrichtung stattfand, sie war ein Mechanismus; ja wir fanden, dass ganz derselbe Mechanismus einmal zum ersten, das anderemal zum zweiten Zwecke benutzt wurde, demnach auch beides zugleich stattfinden kann. Eine allgemeine Unterscheidung bedingt es also nicht. Später werden wir auf die beiden Zwecke noch einmal zurückkommen müssen. Endlich erwies sich noch als allgemeines Kennzeichen, dass dem Mechanismus eine kinematische Kette, oder mehrere derselben, wir können sagen: wenigstens eine solche Kette, d. h. eine eigenthümliche Mehrheit von Elementenpaaren zu Grunde lag. Die hier zusammengefassten wesentlichen Eigenschaften ergeben nun folgende Begriffsbestimmung:

> XIII. Ein Mechanismus ist eine mechanische Vorrichtung aus drei oder mehr gegeneinander beweglichen Theilen, die so zusammengesetzt sind, dass nach Feststellung eines dieser Theile die Bewegungen der übrigen Theile nach Bahnen und Schnelligkeitsverhältnissen bestimmte sind.

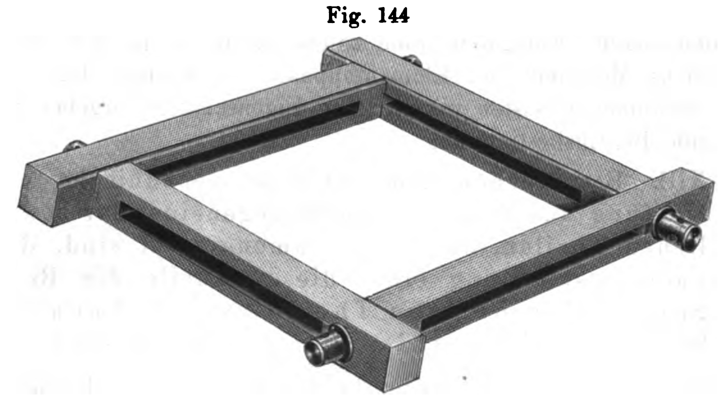
Man könnte fragen, warum die Anzahl drei in die Erklärung aufgenommen sei. Das musste geschehen, um den Begriff der kinematischen Kette einzuführen, oder hervorzuheben, dass in jedem Mechanismus mindestens zwei bewegliche Theile vorkommen müssen *). Weniger als drei Theile führen zu übermässigem Schluss, oder zum Elementenpaar, wie wir gesehen haben, und dieses liefert nur ein Geräth. An diesem Punkte haben Fach-

*) Hartig hat in seinen „Studien in der Praxis des kaiserlichen Patentamtes" (Leipzig 1890) S. 16 hervorgehoben, dass ich in der theoretischen Kinematik die kleinste zulässige Zahl der Kettenglieder nicht angegeben habe; ich hatte das nur mittelbar gethan, hole es aber nun oben unmittelbar und ausdrücklich nach.



männer, wie Nichtfachmänner von Stimme, nämlich Rechtsgelehrte, wiederholt die Unsicherheit, die wir hier zu heben versuchen, gerügt. Andrerseits kann ein Geräth aber auch mehr als zwei Elementenpaare, also drei oder mehr Theile, enthalten. So z. B. der gewöhnliche Zirkel mit Bleirohr oder Ziehfeder, die mit einem Gelenk an den Zirkelschenkel angesetzt sind. Hier finden sich schon drei Theile, und zwar wichtige, bei zwei Elementenpaaren. Aber diese drei Theile sind in ihren Bewegungen voneinander unabhängig. Der Zirkel mit Nadelfuss und zugehörigem Gelenk hat gar vier gegeneinander bewegliche Theile bei drei Elementpaaren, und doch ist er ein Geräth und kein Mechanismus, weil die vier Theile nur paarweis nachbarlich in ihren Bewegungen abhängig sind, ein Umstand, den wir beim Verstellen des Zirkels sehr vortheilhaft benutzen. Dieser Zirkel ist eine offene kinematische Kette nach Fig. 119a. Folgende Figur stellt eine mechanische Vorrichtung aus acht Theilen dar,

Fig. 144



die dennoch ein Geräth ist, nämlich der sehr brauchbare Eppstädt'sche Schliessrahmen für Buchdrucksatz*). Vier Prismenpaare bilden die Stäbe, die man im Setzersaal mit Recht Stege nennt und aneinander paarweise befestigt, wozu vier Schraubenpaare dienen. Also acht Elementenpaare sind vereinigt, aber die Bewegungen in jedem der acht Paare sind von denen in den sieben anderen unabhängig. Die Vorrichtung ist sehr gut ausgedacht, weil man ihre vier Stege für alle Grössen von Rechtecken innerhalb ihres grössten Geviertes ein- und feststellen kann. Aber das Ganze ist und bleibt ein Geräth.

*) S. Hofmanns Papierzeitung 1895, Nr. 6.

Noch möchte vielleicht der Wunsch gehegt werden, in die Erklärung aufzunehmen, dass alle beweglichen Theile im Mechanismus sich entsprechend und abhängig bewegen müssten, wenn man einen der Theile in Bewegung setzte. Das kann aber nicht als bestimmend angesehen werden, weil es viele Mechanismen gibt, in denen Todpunkte vorkommen, über die man durch Angreifen an einen beliebigen Theil schlechterdings nicht Herr werden kann; auch die Reibung schliesst in vielen Fällen völlig aus, einen Mechanismus von irgend einem seiner Theile aus in Bewegung zu setzen, mitunter auch die Schwäche der betreffenden Bautheile.

Endlich könnte noch gewünscht werden, dass man sage, die Theile seien „zu dem Zwecke“ so zusammengesetzt wie erläutert, um damit Bewegungen umwandeln zu können. Die Zweckangabe ist aber in der Regel in einer Begriffsbestimmung unnöthig; diese muss nur so beschaffen sein, dass die Erfüllung der fraglichen Zwecke durch sie nicht ausgeschlossen wird. Uebrigens kommen auch Mechanismen vor, bei denen die Bewegungen gar nicht umgewandelt werden; die Anführung der in den älteren Darstellungen so beliebten Bewegungsverwandlung würde somit sogar gefährlich sein.

Ein Anderes ist, ob nicht das Vorstehende unter diesen Umständen zu ausführlich wäre und nicht so genau begründet zu werden brauche. Dem steht entgegen, dass wissenschaftliche Unterlagen durchaus fest begründet sein müssen, ausserdem aber auch, dass von namhaften Fachmännern schon Mechanismus und Maschine miteinander verwechselt, oder wenigstens vermischt worden sind, wodurch sich unerfreuliche Unklarheiten verbreitet haben.

§. 36

Geschichtliches über einige mechanische Vorrichtungen

Im Vorstehenden haben wir uns einer theoretischen Betrachtung der Maschine in deren Allgemeinheit schon beträchtlich genähert, indem sich deutlich erkennen liess, dass die Maschine aus Mechanismen besteht. Ehe wir aber untersuchen, wie letztere in der Maschine zur Anwendung gelangen, empfiehlt es sich,

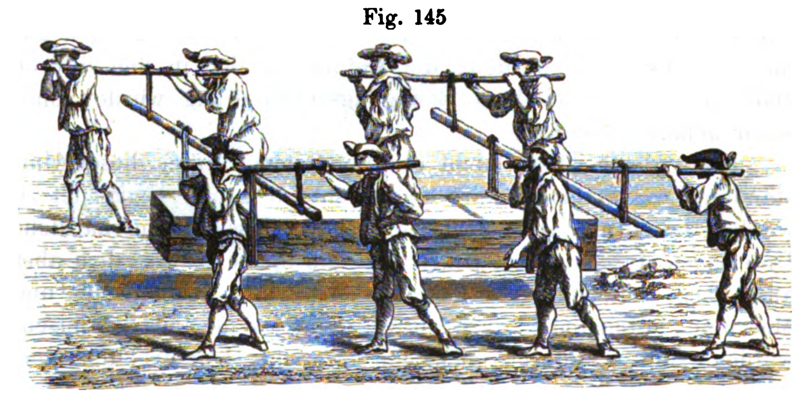
einen Blick auf die Geschichte der Anwendungen der praktischen Mechanik zu werfen *). Wir werden dabei namentlich den Uebergang vom Geräth zur Maschine ins Auge zu fassen haben. Deutlich lässt sich bei einer derartigen Untersuchung unterscheiden,

auf welche Weise Kräfte bei Fortbewegungen überwunden,
und auf welche Weise Körper umgestaltet werden,

mit andern Worten: wie „Ortsänderung" und wie „Formänderung" vorgenommen werden. Der ersteren Aufgabe wollen wir uns namentlich zuwenden, vor allem betreffend die Fortbewegung besonders grosser Lasten, da es sich dabei um Kräfte handelt, die dem einzelnen Menschen nicht zu Gebote stehen, also besondere Veranstaltungen erfordert haben.

Das Fortführen schwerer Quadersteine durch Menschenkraft hat die sinnreiche Vertheilung auf, buchstäblich genommen, viele Schultern mittelst der Zwischenträger oder Ortscheite entstehen lassen, wovon Fig. 145 nach Nicolo Zabaglia **) eine Darstellung

Fig. 145



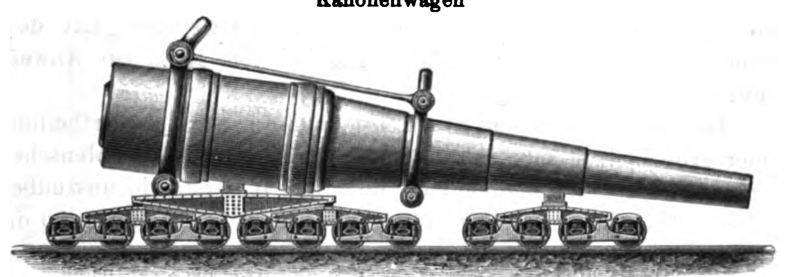
gibt. Acht Bursche tragen, wie die Betrachtung der Abbildung alsbald lehrt, zu gleichen Antheilen an dem Block. In Indien ist dieses mehrere Jahrtausende alte Tragverfahren auch heute noch im Gebrauch, um aus den Steinbrüchen oft mehrere Meilen weit die fertig bearbeiteten Quader zur Baustelle zu schaffen. 32, ja 64 Mann tragen dann einen derartigen Block; voraus schreitet ein Spielmann, der auf seiner Flöte den Takt angibt. Nach Angabe der englischen Ingenieure ist diese Beförderung in Indien

*) Die Entwicklungsgeschichte wurde schon im ersten Bande, S. 195 ff. in gewissen Hauptzügen behandelt.

**) Castelli e ponti, Roma MDCCXLIII, Tafel XVII.

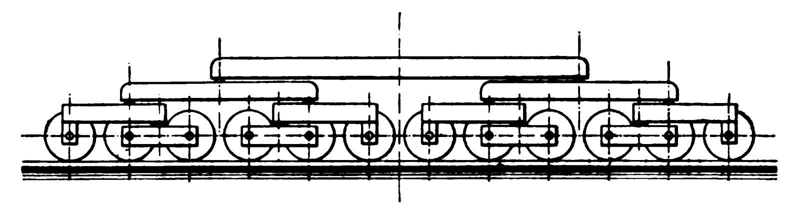
weit billiger, als die mit Wagen und Pferden, da für diese die Strassen in den Steinbruchgegenden selten gut genug sind. Die Traghebel oder Ortscheite sind hier einfache Geräthe. In unsren Wagenbracken und Ortscheiten benutzen wir sie auch zu ziemlich ähnlichem Zweck der Kraftvertheilung, wobei indessen der Wille von Thier und Mensch noch den grösseren Antheil beim Vertheilen zu übernehmen hat. Auf unsren Eisenbahnen verladen wir sehr lange schwere Stücke unter ähnlicher Kraftvertheilung auf zwei Wagen und dadurch auf 8 oder 12 gleichbelastete Räder. Die Bahnbeförderung einer Kanone von 60 t Gewicht, das durch Zwischenträger auf 6 Trucke oder 24 Räder vertheilt wird, zeigt Fig. 146. Auf jedes Rad kommen $2^1/_2$ t oder 2500 kg.

Fig. 146
Kanonenwagen



Das hier dargestellte Verfahren der Lastvertheilung kommt mehr und mehr in Gebrauch, offenbar, weil die Aufgaben der Fortbewegung grosser Lasten fortwährend zunehmen. Fig. 147

Fig. 147
Russells fahrbarer Dampfkran



zeigt, wie es neuerdings bei zwei 25 t-Kranen für Kohlenumladung benutzt worden ist. Die Krane sind von Russell & Cie in Schottland nach Entwürfen der Ingenieure Sandemann und Moncrieff gebaut*) und fahren bei einem Eigengewicht von 150 t

*) S. Sc. American Supplement, 31. Juli 1897, auch Engineer.

auf 24 Rollen, an jeder Seite 12 Stück; diese haben mittleren Spurkranz und laufen auf Doppelschienen. Der Kran überbaut zwei Geleise. Die Last, die auf jeden der beiden Wagen kommt, wird genau in 12teln auf die Rollen vertheilt. Die oberen drei Ortscheite sind gleicharmig und vertheilen die Last gleichförmig auf die vier dreirädrigen Trucke, in denen wieder gleichmäſsige Vertheilung in 3tel, also 12tel der Last des Wagens, 24stel des Krangewichtes erfolgt. Schon Zabaglia gibt in dem angeführten Werke an, wie man mittelst der Ortscheite eine Last auf 2 × 3 Träger usw. gleichmäſsig vertheilen könne. Fig. 148 zeigt an, wie dies geschieht. Die hier benutzten Ortscheite mit dem Hebelarmverhältniss 1 : 2 sind auch bei dem Kran zur Anwendung gekommen.

Fig. 148

Bei der altindischen Tragweise wird die gleiche Vertheilung einer grossen Last sehr leicht erzielt, weil die tragenden Menschen senkrechte Kräfte aufzunehmen oder als Widerstände auszuüben haben. Viel schwerer fällt die gleichmäſsige Vertheilung, wo die Last nicht getragen wird, sondern geschleppt werden muss, weil sie zu gross zum Tragen ist. Eine altägyptische Abbildung, und zwar eine einzige, einer Kolossschleppung durch Menschen ist uns glücklicherweise erhalten; Fig. 149 gibt sie wieder. Die Darstellung ist im Hintergrund einer Grotte bei Edayr, einem christlichen Dorfe zwischen Antinaï und El Berschek nahe dem Nil, in die Wand eingegraben. Der Steinkoloss, das Bildniss eines Privatmannes, ist auf einem Schlitten befestigt und dieser wird von 4 mal 43 oder 172 Menschen, die zu 43 je an einem Zugseil ziehen, fortgeschleift. Höchst wahrscheinlich wird im Takt marschirt, den der Aufseher, der auf dem Knie des Sitzbildes steht, durch Händeklatschen angibt. Auffallend ist, nebenbei bemerkt, dass in der dritten Reihe lauter weisse Männer, wohl Kriegsgefangene, am Tau zu ziehen haben. Das Zugelement Seil dient hier zwar nicht zur gleichmäſsigen Kraftvertheilung, aber sehr gut zur Zusammenfassung aller aufgewandten Muskelkräfte. Der hier dargestellten Lastbeförderung, die etwa 2300 v. Chr. stattfand, standen noch weit bedeutendere, über welche gute Berichte vorliegen, zur Seite, so z. B. die der grossen Obelisken von Heliopolis,

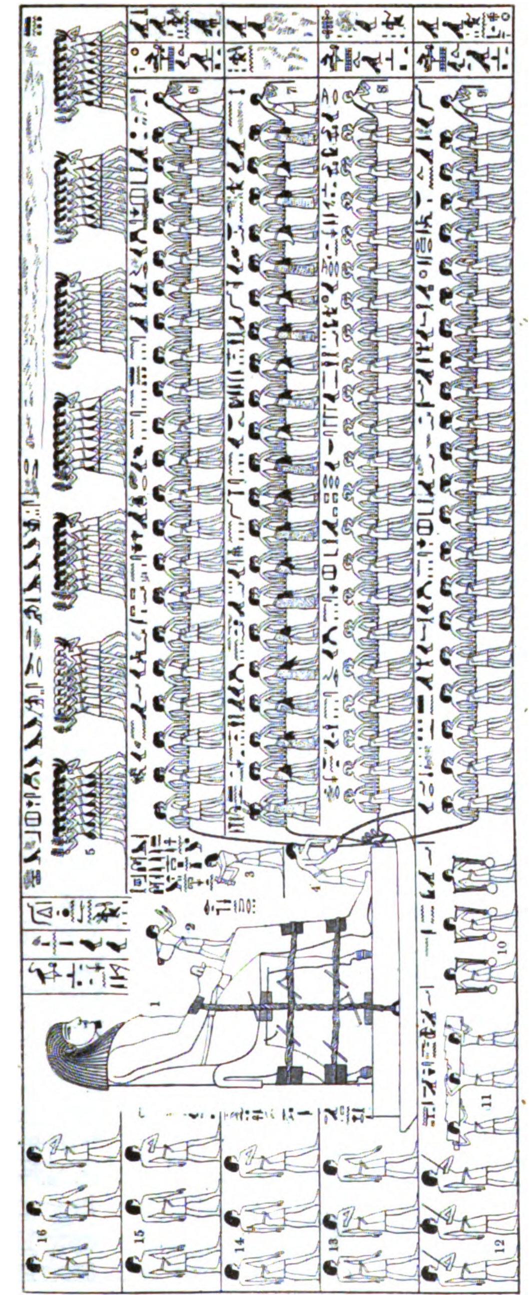


Fig. 149

welche 200 deutsche Meilen weit von Assuan herzu holen waren, höchst wahrscheinlich aber auf ganz dieselbe Weise geschleppt wurden. Dieses kostete viel Zeit. So dauerte z. B. die Heranführung des, noch erhaltenen, aus einem vollen Block hergestellten Tempelhäuschens, das von Elephantine nach Bubo geschafft wurde, drei Jahre und beanspruchte an 2000 Mann von der Schifferkaste. Im allgemeinen waren die Aegypter sehr geschickt im Bewegen grosser Lasten, besassen den Flaschenzug und wussten ihn gut zu benutzen. Einen fertigen, daliegenden Obelisken, den sie mit einem Stichkanal erreichen konnten, unterfuhren sie mit einem durch Bal-

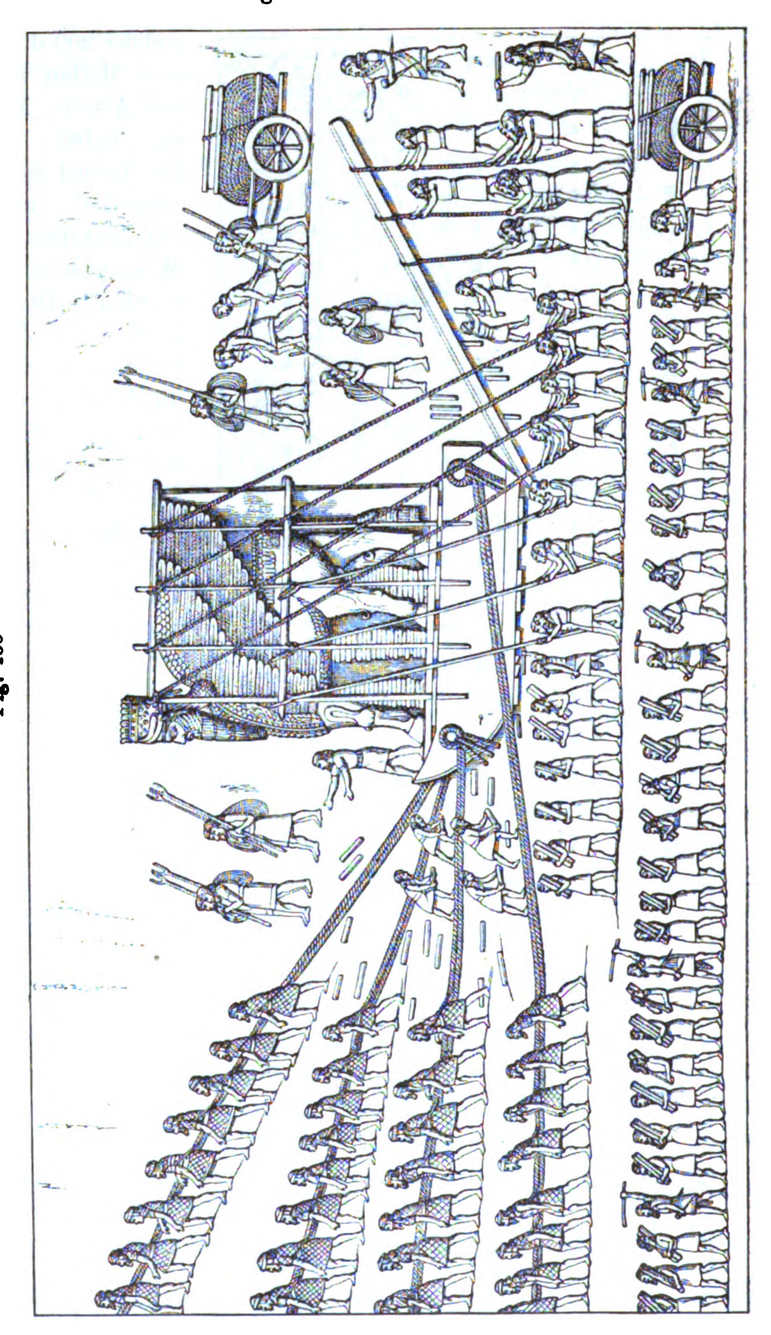


Fig. 150

last tiefgehend gemachten Schiff, warfen dann den Ballast heraus und fuhren mit der nützlichen Last davon. Zum senkrechten Heben grosser schwerer Blöcke bedienten sie sich, wie Brugsch Pascha dem Verfasser mittheilte, eines Verfahrens, das von Alters her bis heute überliefert ist, bestehend im Unterstopfen des Blockes mit Sand. Dieser wird mit hölzernen Stopfern, dem unsre, beim Unterstopfen von Schwellen gebräuchlichen wie Zwillingsbrüder ähnlich sehen, untergetrieben. Mit diesem Verfahren hoben wenige braune Wüstensöhne 1869 einen schier unangreifbaren polirten Sarkophag aus seiner Lagerstätte in einer engen Grotte herauf, nachdem die Europäer unser Zeughaus von Maschinen vergeblich daran versucht hatten. Das Einsenken solcher Lasten in enge Grüfte geschieht unter Umkehrung des Verfahrens. Was wir vor uns haben, ist die Ausübung grosser Kräfte durch ein Flud, ganz vergleichbar der Kräfteübertragung in der hydraulischen Presse.

In jenen Zeiten waren auch die Babylonier und Assyrer geübt und geschickt im Bewegen grosser Lasten. Fig. 150 stellt ein assyrisches Gegenstück zu der vorhin besprochenen ägyptischen Kolossbeförderung*) dar.

Hier wird die Fortführung des riesigen, wohl $5^1/_2$ bis 6 m hohen Steinbildes eines K'rub's oder Ch'rub's**) (ein Wort, aus dem später Cherub wurde) bildlich dargestellt. Der mächtige alabasterne Flügelstier steht offenbar auf einem Schiff, ist also wohl den Euphrat herabgebracht worden. Wiederum sind vier Reihen von Ziehenden in Thätigkeit, diesesmal an doppelten Seilen, die auch sehr geschickt nicht nur vorn, sondern auch hinten am Schiff durch Halsen gezogen sind. Der Händeklatscher ist auch wieder da. Abweichend vom ägyptischen Verfahren wird hier das hölzerne Gefährt auf Walzen vorwärts gebracht, die, trotz dem Mangel der Perspektive, unter dem Balkenrahmen, der das Schiff trägt, zu erkennen sind. Mannschaften in beträchtlicher Anzahl tragen die hinten frei werdenden Walzen nach vorn, angetrieben von etwas aufgeregten Unteroffizieren. Vor Schwankungen wird das hohe platte Bildwerk einestheils mittelst gegabelter Stangen und anderntheils diesen entgegen mittelst Zugleinen bewahrt. Kraftschluss unter Willensleitung also überall. Sehr

*) Nach Layard.

**) Vergl. Reuleaux, Ueber Sinnbilder, Westermanns Monatshefte 1897, Oktober und November.

bemerkenswerth ist der Hebel, der am hinteren Ende des Balkenrahmens untergesetzt und mit Seilen regiert wird. Ich mache auf ihn aufmerksam, weil das lächerliche, geradezu kindliche Märchen umgeht, Archimedes habe den Hebel erfunden. Hier wird der Hebel, auf den in den früheren Zeiten des Menschengeschlechts jeder Einzelne von selber kam, wenn er mit einem Stab eine Last fortrücken, oder einen Stein aus dem Boden lüpfen wollte, fünf oder wahrscheinlich fünfzehn Jahrhunderte vor Archimedes*) schon technisch gebraucht; das sollte doch die gedankenlose Sage von Archimedes' Hebelerfindung wenigstens unter den Ingenieuren verstummen machen. Die Vorkehrungen und Geräthe, die im assyrischen wie im ägyptischen Falle von einer grossen Anzahl von Leuten gebraucht werden, als: Seile, Schleifbahn, Walzen, Hebel, sind Elemente, die wir auch zu Maschinen verwenden, auch sind sie in Formen benutzt, die sich als roh ausgeführte Elementenpaare anerkennen lassen; dennoch aber erheben sie sich nirgend bis zum Mechanismus, da Willensleitung überall noch stattfinden musste. Sie bilden in beiden Fällen eine „Geräthschaft", einen Tross von Geräth, gerade wie unsre heutigen Brückentrosse der Pioniere und Aehnliches, nicht aber eine Maschine oder eine Gruppe von solchen.

Ueber Archimedes, an den wir vorhin erinnert wurden, herrschen merkwürdigerweise auch in den besten Kreisen der Techniker so unklare Ansichten, dass wir bei ihm, dem grössten Mechaniker des Alterthums, einige Augenblicke verweilen müssen, zumal er um die Zwanglaufmechanik sich hochverdient gemacht hat. Schon das „Heureka"-Erlebniss, das in aller Welt Munde ist, und dort auch unverstanden bleiben mag, wird in technischen Schriften meist falsch erörtert. Das geschieht z. B. auch in der ernsten, tüchtigen Mechanik von Mach**), die ich nur herausgreifen will als Beispiel von vielen. Nachdem Mach aus Vitruvs Vorrede zum neunten Buch seiner „Architektur" den Anfang der Erzählung wiedergegeben, wie Hiero dem Archimedes zu ermitteln aufgetragen, ob der Goldschmied der gelieferten Krone Silber statt Gold beigesetzt, und wie Archimedes dann im Bade seine Beobachtung von der Wasserverdrängung gemacht und „Ich hab's! ich hab's!" rufend heimgestürzt sei, fährt er fort: „Die Be-

*) Archimedes lebte von 287 bis 212 v. Chr.

**) Dr. Ernst Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch kritisch dargestellt, Leipzig 1883.

merkung, welche Archimedes zu seinem Satze (vom Auftrieb) führte, war demnach die, dass ein ins Wasser einsinkender Körper ein entsprechendes Wasserquantum heben muss, gerade so, als wenn der Körper auf einer, das Wasser auf der andern Schale einer Waage läge. Diese Auffassung, welche auch heute noch die natürlichste und direkteste ist, tritt auch in den Schriften des Archimedes ‚Ueber die schwimmenden Körper‘ hervor, welche leider nicht vollständig erhalten sind...“ Hiermit drückt Mach die Meinung zahlreicher Zeitgenossen aus, und doch hat er und haben sie hier den „Heureka“-Satz zu Unrecht mit dem Auftriebsatz vermengt; beide Sätze haben nichts miteinander zu thun, denn das Wasser war Aeusserlichkeit. Mach hätte nur fortfahren sollen in der Uebersetzung. Archimedes, der die körperlichen Inhalte von Kegel, Kugel und Cylinder und so vielen Körpern, die sich darauf zurückführen lassen, bestimmt hatte, sagte sich, die gewünschte Ermittelung würde ja leicht sein, wenn er nur den körperlichen Inhalt der Krone kännte; wie solle man aber diese flächenreichen Kunstformen von Blättern, Knäuflein, Spitzen und Buckeln auf Inhalt berechnen wollen. Im Bade nun, als er in eine ganz volle Wanne steigt, fällt ihm, da seine Gedanken voll von der Frage sind, auf, dass selbst der geometrisch so verwickelt gebaute menschliche Körper auf seinen Inhalt gemessen werden könne durch den des weggedrängten, über den Wannenrand abgeflossenen Wassers. Keine Rede vom Schwimmen, kein Gedanke vom Auftrieb! Mach hätte, wie gesagt, nur weiter übersetzen sollen. Da heisst es denn bei Vitruv:

„Jetzt nahm er, erzählt man, in Folge der gemachten Entdeckung, zwei Massen von gleichem Gewicht mit der Krone, die eine von Gold, die andere von Silber: füllte ein grosses Gefäss bis an den obersten Rand mit Wasser an, und hängte die silberne Masse hinein, worauf gerade so viel Wasser überfloss, als diese darin Raum einnahm. Sodann nahm er die Masse wieder heraus und goss das übergeflossene Wasser, nachdem er es zuvor gemessen hatte, wieder hinein, so dass das Gefäss ebenfalls wie vorher bis an den obersten Rand voll war. Nun berechnete er, wie viel von einem gegebenen Maſse Wassers einem gegebenen Gewicht Silber entspräche.“ Was Archimedes herausbekam, war nichts anderes, als das Einheitsgewicht oder spezifische Gewicht, wie wir es nennen. „Dies ausgemacht“, heisst es dann weiter, „hängte er gleichfalls die goldene Masse in das volle Gefäss und maſs, nachdem

er sie wieder herausgenommen, wiederum das übergeflossene Wasser; wo er denn fand, dass nicht so viel als vorher, sondern um so viel weniger, als bei gleichem Gewichte die Goldmasse kleiner als die Silbermasse ist, übergelaufen sei. Hierauf füllte er das Gefäss abermals mit Wasser an und hängte die Krone selbst hinein: und es ergab sich, dass mehr Wasser überfloss, als bei der Goldmasse von gleichem Gewicht. Aus dem, was bei der Krone mehr an Wasser übergelaufen war, als bei der Goldmasse, fand er nun durch Berechnung das Gewicht des dem Golde beigemischten Silbers, und so lag der Betrug des Goldschmiedes klar am Tage."

So sieht diese einfache, schöne und wohl erste Ermittlung des spezifischen Gewichtes aus, die von Mach und vielen Anderen verwechselt worden ist mit dem „Archimedischen Gesetz" vom Gewichtsverlust eingetauchter Körper. Der etwas zu weitschweifige Cantor*) behandelt die Sache ganz richtig und ermittelt alsbald die Formel, nach der das Gewicht des beigemengten Silbers zu bestimmen war. In den Kreisen der Ingenieure sollte die unklare Vermengung zweier so sehr verschiedener, werthvoller Entdeckungen des grossen Meisters doch baldigst beseitigt werden.

Aber noch bezüglich eines andern Punktes werden Archimedes' Leistungen in der angewandten Mechanik unrichtig angesehen und beurtheilt, das ist in Betreff der Fortbewegung des berühmten grossen Schiffes des Hieron. Hier ist der Techniker noch mehr als vorhin veranlasst, genauer zuzusehen, da es sich um die Bewegung einer ungeheuren Last handelte.

Von dem riesigen Schiff Syrakusia, später Alexandria genannt, einem mächtigen Dreidecker mit drei gewaltigen Masten und acht Thürmen mit Schleudermaschinen, ist uns eine Beschreibung erhalten. Es war ein Kriegsschiff und hatte angeblich zwanzig Ruderreihen**); man berechnet***) heute, dass es nicht unter 4200 Tonnen hielt. Als man es, nachdem es aufgezimmert war, vom Stapel lassen wollte, zeigte sich die Helling zu flach angelegt, es lief nicht ab. Aehnlich gieng es in unsrer Zeit dem englischen Ingenieur Russell mit dem Leviathan, der auf Querablauf gestellt war und nun mit hydraulischen Pressen abgedrückt

*) „Vorlesungen ü. Gesch. d. Mathematik", Leipzig, 2. Afl., 1894, S. 295.

**) Nicht zwanzig „Ruder", weil es ein Lastschiff gewesen wäre, wie die Nationalzeitung im Juni 1897 mittheilte.

***) Nach Cantor a. a. O.

wurde, nicht ohne dass mehrere dieser Pressen zersprangen. „Nachdem aber nun“, berichtet Athenäus*) über die Syrakusia, „wegen des Hinablassens in das Meer viele vergebliche Versuche angestellt worden waren, bewerkstelligte dies der Mathematiker Archimedes mit wenigen Sklaven. Mit Hülfe einer ‚Schnecke‘, deren Erfinder er ist, brachte er den gewaltigen Schiffsbauch in die See.“ Wo ich hier „Schnecke“ für helix (ἕλιξ) gesetzt habe, sagt der sonst treffliche und anerkannte Uebertrager aus dem griechischen Text, Th. Kramer, „Hebel“, „mit Hülfe eines Hebels“. Er spricht, als offenbarer Nichtmechaniker, hier Andern nach, indem er sich unter Hebel irgend etwas ganz Wunderbares vorstellt, während wir uns doch leicht denken können, dass die Syrakuser Zimmerleute mit so und so vielen Hebeln sich schon vergeblich an dem widerstehenden Ungethüm abgeplagt hatten.

Sodann wird erzählt (aber nicht bei dem sorgfältigen Athenäus), dass Archimedes seinem über die gelungene Leistung erstaunten Vetter Hieron gesagt habe: „Gib mir, wo ich stehe, und ich bewege die Erde!“ oder nach Andern: „und ich hebe die Erde aus ihren Angeln“. Schon dieser kleine Aenderungsversuch ist bezeichnend. Der Leser soll nur wissen, dass nicht weniger als drei, vielleicht noch mehr, griechische Formen des angeblichen Ausspruches uns erhalten sind**), woraus hervorgeht, dass das Ganze ein geflügeltes Wort ist, das die Nachwelt, oder vielleicht auch schon die Zeitgenossen, aus schlichten Bemerkungen des Archimedes gemacht haben***). In einer von den drei

*) In den „Deipnosophisten“, zu deutsch der „gelehrten Tischgesellschaft“, Buch V, von dem allein ein Theil, etwa drei Viertel umfassend, übersetzt ist. (Kaibels Textausgabe umfasst drei Bände.)

**) Bei Pappus: *Δός μοί ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν.* Bei Proklus (?): *Δός μοί ποῦ στῶ καὶ τὴν γᾶν κινασῶ*, Echtheit im Ausdruck versuchend in der heimathlichen dorischen Mundart Archimeds. Bei Tsetzes, einem Byzantiner des XII. Jahrhunderts, lautet es vierzehn Jahrhunderte nach Archimedes: *Πᾶ βῶ καὶ χαριστίωνι τᾶν γᾶν κινήσω πᾶσαν?* Wohin soll ich gehen mit dem Wägewerkzeug, damit die ganze Erde zu bewegen.





Fig. 151

***) Das Gleichniss vom Heben der Erde ist bekanntlich als blühende Redeform in den Nährboden der Bildung überall eingedrungen, wie tief, zeigt die nebenstehende Fig. 151, die der ausgezeichnete amerikanische Verein der Maschineningenieure sich als Sinnbild und Siegel erwählt hat und seit seiner Gründung 1880 führt.

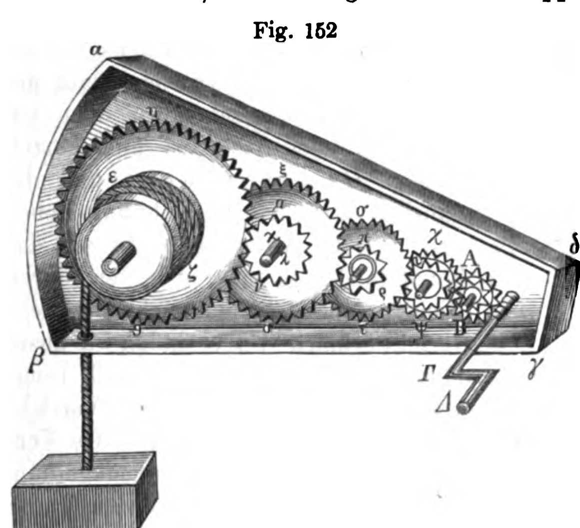
Wiedergaben, der spätesten, finden wir sogar einen besondern Namen, *Charistiōn*, für Archimeds Vorrichtung gebraucht; man hat ihn recht frei mit „Wägewerkzeug“ übersetzt*).

Was aber mag denn die Vorrichtung gewesen sein? Was hat er denn statt des ins Fabelreich zu verweisenden Hebels gebraucht? Das ist doch für uns, für das Verständniss der Entwicklung der Technik, in hohem Grade wichtig. Ueber die Vorrichtung liegt aber thatsächlich eine bisher wohl übersehene Erklärung vor, und zwar im achten Buche der „Sammlung“ des Alexandriners Pappus, der im 3. Jahrhundert n. Chr. sinnreich

*) Nach Simplicius, einem hervorragenden Erklärer des Aristoteles aus dem VI. Jahrhundert n. Chr. — Es ist auffallend, wie schattenhaft, wie verwaschen das Bild des Archimedes dem heutigen Geschlecht, wie wir auch oben schon sahen, vorschwebt. So wird auch in Betreff seiner Tödtung bei der Erstürmung von Syrakus ganz Unklares über ihn erzählt, nämlich er habe auf dem Markt gesessen, Figuren in den Sand zeichnend mit seinem Stabe, und habe dem mit geschwungenem Schwert heranstürmenden Soldaten zugerufen: „Störe mir meine Kreise nicht!“ *Noli turbare circulos meos!* Für einen solchen Träumer darf der Ingenieur den Archimedes, dem er so vieles verdankt, nicht halten, denselben Archimedes, dessen lebhafte und kluge Thätigkeit für die Vertheidigung der Stadt so ganz Ausserordentliches leistete, dass nach Livius' Zeugniss er allein es war, der die Angriffe der Römer durch drei Jahre völlig aufhielt. Einem solchen Mann darf man keine Schlaffheit andichten. Den wirklichen Vorgang möchte ich deshalb hier anführen. Die Geometer vor zwei Jahrtausenden bedienten sich bei ihrem Unterricht und bei Vorarbeiten nicht der schwarzen Tafel und der Kreide, sondern eines flachen Tisches mit niedrigen Randleisten, auf den Staub oder Sand gestreut war und mit einer Walze zuerst geebnet wurde. In den Sand (*pulvis*) wurde darauf mit einem Stabe (*radius*) gezeichnet und geschrieben. Noch heute sind in Indien kleinere tragbare Staubbretter im Gebrauch, roth gemalt, so dass das Eingezeichnete roth aus dem hellen Sande hervorleuchtet. Um den Sandtisch — *abacus*, von dem semitischen Worte *abak*, Staub — herum standen die Schüler; Raphael lässt mit Unrecht in seiner „Schule von Athen“ den Archimedes auf den Boden zeichnen. „Sandstäbler“ nennt Cicero in seinen Tusculanen die Geometer. Nun, Archimedes war, als die Römer nach fast dreijähriger Belagerung Syrakus schliesslich überrumpelten, ruhig mit Studien beschäftigt und stand in seinem Hause an einer Sandtafel, als der Plünderer — „der ihn nicht kannte“, sagt Livius (XXV, 31) einfach — eindrang und ihm den Todesstreich versetzte. Wiederum hat geschwätzige Ueberlieferung an Worten herumgeklügelt und beflügelt, die der Bedrohte gesprochen hätte. Nach dem Einen ganz bühnengerecht auf griechisch: „Auf den Kopf triff, nicht auf meine Zeichnung!“ nach Andern (Tsetzes) in obendrein mangelhaftem Dorisch: „Bleib weg, o Mensch, von meinen Figuren!“ Alle drei Formen, die obige lateinische eingeschlossen, werden wir zu den Nacherfindungen zu rechnen haben, da Livius, der alle Reden seiner Hauptpersonen so genau wiedergibt, nichts davon weiss.

aus dem für uns verloren gegangenen *Barulkon* Heros von Alexandrien (um 100 v. Chr.) schöpfte und uns sogar eine Abbildung, oder vielmehr zwei davon überliefert hat. Er sagt dazu: „Es ist die Erfindung Archimeds in der Mechanik, wobei er gesagt haben soll: Gib mir einen Standpunkt und ich bewege die Erde“. Es war eine Zahnradwinde mit Schnecken- oder Wurmradbetrieb, die in Fig. 152 nach Pappus dargestellt ist.

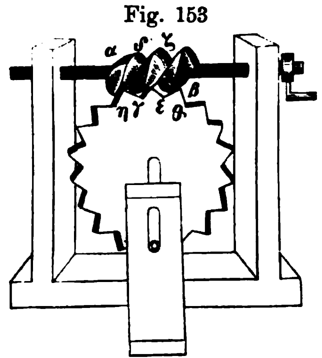
Fig. 152



Vier Stirnräderpaare und ein fünftes Räderpaar, aus Zahnrad und der Schraube ohne Ende oder Schnecke bestehend; daher denn der Name *Helix*. Pappus gibt noch den andern Namen *Glossokomon* an, den Hero anwende; das Wort deutet nur die rein äusserliche Form an, die nämlich mit derjenigen einer Kapsel für Flötenmundstücke, abgesehen vom Mafsstab, eine gewisse Aehnlichkeit darbot. G. J. Gerhardt hat die Uebersetzung „Futteral“ gewählt, die nicht glücklich zu nennen ist und die wir durch „Kapsel“ oder „Kapselwinde“ ersetzen könnten. Dem ferneren Wortlaut bei Pappus ist zu entnehmen, dass an jeder Seite des grössten der Räder ein Tau auf eine mit dem Rade fest verbundene Trommel gewickelt war. In dem Beispiel im Barulkon ist eine Last von 1000 Talenten oder 26 Tonnen als durch 5 Talente oder 130 kg aufhebbar berechnet. Pappus rechnet ein Beispiel für 160 Talente oder rund 4 Tonnen Last; die Stärke der auf die Trommel zu wickelnden Taue hat jedenfalls eine obere praktische Grenze abgegeben. Das Schneckengetriebe stellt Pappus nach dem Barulkon in einer besonderen Abbildung, die Fig. 153 wiedergibt, dar und begleitet diese mit einer ganz ausführlichen, das vollste Verständniss erkennbar machenden Beschreibung.

Denkt man sich einige dieser Schneckenwinden, vielleicht ihrer zwei oder vier, zur Fortrückung des Schiffes benutzt, vielleicht so, dass die von den Winden kommenden Taue hinter dem Steven zusammengeknüpft waren, so konnte damit ganz gut eine Kraft auf den Steven ausgeübt werden, die das Schiff seewärts brachte. Die Winden mag man nach jedem grösseren Schub versetzt und gegen Balkenwerk gestemmt haben; immer werden nur wenige Leute, wohl höchstens vier an jeder Winde, zum Drehen Platz gehabt haben. So sehen wir denn sowohl den bei Athenäus angeführten Namen *Helix* gerechtfertigt und die gänzlich verkehrte Bezeichnung Hebel, den uns die Alten gar nicht als das benutzte Geräth genannt hatten, durch Richtiges ersetzt, als auch den Sachverhalt erklärt. Dabei finden wir unsre Wagenwinde, die der Norddeutsche an der Seeküste auch Domkraft, richtiger wohl Daumkraft*) nennt, in Archimeds Vorrichtung vorgebildet. Die Nebel über den Auffassungen des Verfahrens, mittelst dessen der grosse Meister das Schiffsungethüm „mit wenigen Sklaven“ von der Stelle brachte, werden durch die Mittheilung des Pappus vollständig gehoben. Die Vorrichtung selbst haben wir uns im Räderwerk wesentlich aus Erz ausgeführt vorzustellen, die Achsen aus Eisen. Das Ganze ist als ein Geräth anzusehen, nicht als eine Maschine, wie Manche unsre Wagenwinde nennen wollen. Auch der Frachtfuhrmann, der meist eine Wagenwinde hinten im Hängekorb seines Fuhrwerkes mitführt, rechnet dieselbe zu seinen „Geräthschaften“. Erwähnt sei endlich noch in Bezug auf das grosse Schiff, dass Athenäus (Kap. 43) ausdrücklich mittheilt, dass „das im untern Schiffsraum sich ansammelnde Seewasser durch einen einzigen Mann mit Hülfe der von Archimedes erfundenen Wasserschraube ausgepumpt wurde“.

Fig. 153



Grossen Ruhm hat der römische Ingenieur Domenico Fontana durch die 1585 und -86 ausgeführte Niederlegung, Fortführung und Wiederaufrichtung des sogenannten vatikanischen Obelisken

*) S. Grimms Wörterbuch, Bd. II, S. 853.

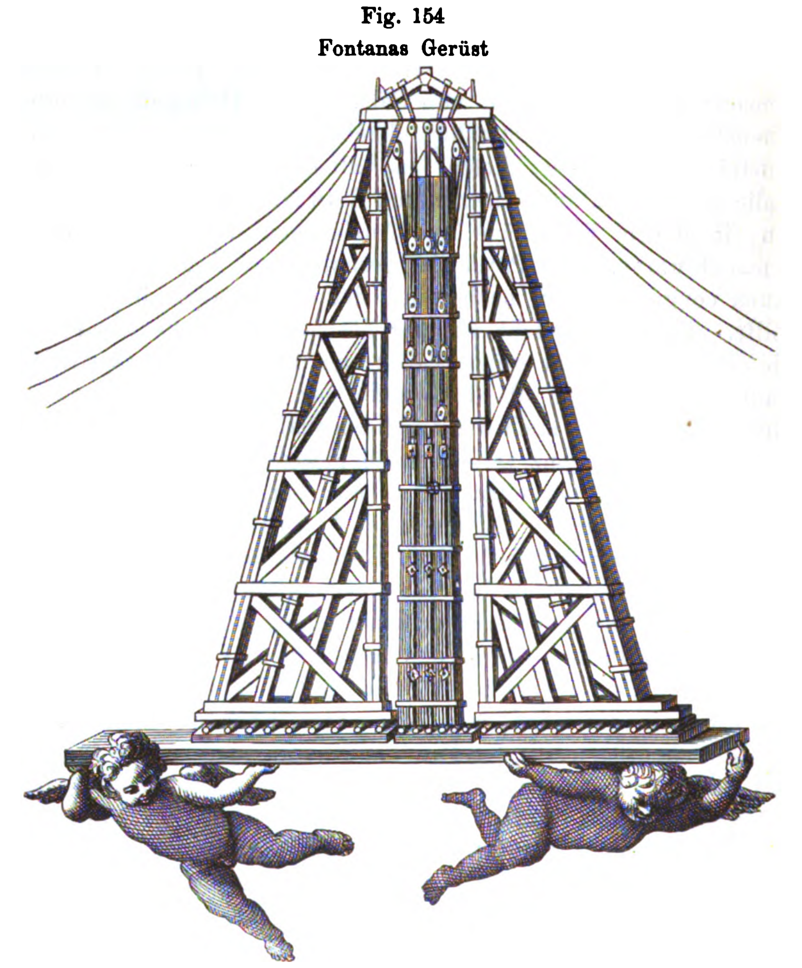
erworben; ihr gegenüber steht in unsrem Jahrhundert die Lösung derselben Aufgabe bezüglich des Obelisken von Luksor, der jetzt eine Zierde des Eintrachtsplatzes in Paris bildet. Der Vergleich der beiden Arbeiten wird für das Verständniss unsres Gegenstandes sehr lehrreich sein können, da in ihnen der Gegensatz zwischen der älteren und der neueren praktischen Mechanik deutlich zu Tage tritt.

Als Papst Sixtus V. im Jahre 1585 die Absicht bekannt gemacht hatte, den einst von Caligula aus Heliopolis geholten Obelisken von seinem Standort abheben und auf dem Petersplatz aufstellen zu lassen, liefen aus allen bedeutenderen Städten Italiens und auch aus Griechenland Entwürfe von Bauverständigen ein, in denen Vorschläge zur Ausführung der grossen Arbeit gemacht waren. Der Papst rief deshalb einen Ingenieurkongress („una congregazione") nach Rom, der die Entwürfe begutachten sollte. Es kamen nicht weniger als 500 Fachleute zusammen, die dann aber nach wenig Tagen den Entwurf des päpstlichen Baumeisters Fontana als den besten zur Ausführung empfahlen; diesem wurde denn auch der Auftrag alsbald ertheilt. Der Obelisk war von seinem ganz verschütteten Fussgestell abzuheben, nach dem Petersplatz, der nicht gar zu fern lag, zu führen und dort wieder aufzurichten. Legung und Aufrichtung geschahen mit Zuhülfenahme eines zweitheiligen Gerüstes, das Fig. 154 (a. f. S.) nach einem Kupferstich bei oben genanntem Zabaglia darstellt. (Die Englein, die den Gerüstaufbau tragen, spielen auf die Zuerkennung des Preises durch den Kongress an.) Man fasste den, gehörig mit Holz verkleideten Schaft mit Flaschenzügen an, hob ihn etwas in die Höhe, zog dann seinen Fuss mit einer Anzahl von Flaschenzügen aus der Mittellage heraus und senkte zugleich den Schaft bis auf einen hölzernen Tragrahmen, dem Walzen untergelegt waren. Darauf rückte man mit dem Gefährt auf einem inzwischen aufgebauten Damm aus Balkenwerk zum neuen Standort, baute dort das Gerüst wieder auf und hob nun den Schaft, dessen steinerner Sockel in der Zwischenzeit fertig gestellt war, mit den Flaschenzügen langsam auf, indem man seinen Fuss nach der Mitte zog, bis der Block frei über der richtigen Stelle schwebte, und liess ihn dann herab. Die Aufrichtung, die ziemlich genau ein Jahr nach dem Kongress vor sich gieng, war der aufregendste Theil der Arbeit und zugleich ein grossartiges, hochbewundertes Schauspiel für Tausende. Wir müssen es aber technisch etwas näher ansehen.

Der Schaft war von 40 vierseiligen Flaschenzügen gefasst, deren Zugseile durch Erdwinden, 40 an der Zahl, gezogen wurden; vier weitere Erdwinden wurden gebraucht, um den Fuss des Blockes anzuziehen. Die Winden wurden durch Menschen und Pferde betrieben, in einer Weise, die die Figur auf folgender Seite dar-

Fig. 154

Fontanas Gerüst

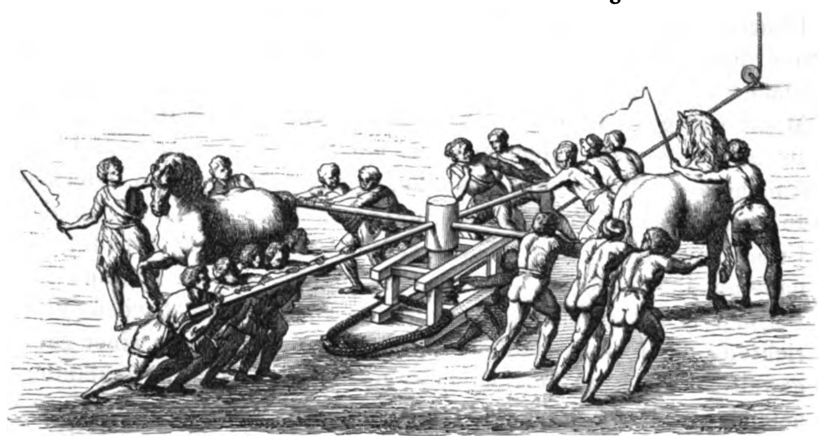


stellt. Ritter Karl Fontana, wohl der Bruder des Meisters Domenico, hat in ihr seine Künstlerschaft bewiesen, allerdings unter Opfern an Genauigkeit, indem er die Pferde ohne Geschirr gezeichnet hat; in andern Figuren ist er übrigens in diesem Punkte wahrheitsgetreuer geblieben. Die sogenannte Erdwinde ist eine Treibwinde

d. h. (vergl. Fig. 107 b) gibt von der Windetrommel ebensoviel Seil ab, als sie aufwickelt; ein Mann muss das ablaufende Trum immer leicht angespannt halten. Der Obelisk wog mit seiner Holzhülle rund eine Million römische Pfund oder 340 000 kg; auf

Fig. 155

Erdwinde zu Fontanas Obeliskenaufzug



jedes der 160 Seile kamen demnach durchschnittlich 2125 kg, mit der Reibung vielleicht 2400. Hierfür würde ein Seil von 55 bis 60 mm Dicke passen. Das Aufgebot an Arbeitern betrug 800 Köpfe, dazu kamen 140 Pferde; die Aufrichtung dauerte von Sonnenauf- bis -untergang des 10. Septembers 1586 *).

Die ganze, bedeutende Arbeit ist bewunderungswürdig verlaufen und vollständig gelungen; die Führung der grossen Menge von zusammenarbeitenden Menschen auf dem weiten Petersplatz zu bestimmtem gemeinsamem Thun, wobei Glocke und Trompete die Verständigungsmittel waren, lässt Fontana wie einen technischen Feldherrn erscheinen, der seine Schlacht glänzend gewann.

*) Erwähnung verdient der merkwürdige Zwischenfall, dass im letzten Augenblick der Obelisk nicht genug gehoben werden konnte, weil die Kloben einzelner Flaschenzüge anstiessen. Grosse Verlegenheit. Lautlos stand die Menge, da es bei Todesstrafe verboten war, zu rufen. Das that aber dennoch einer der Arbeiter, ein Matrose, Bresca mit Namen, indem er schrie: „Wasser auf die Taue!" Er wusste aus seiner Seemannserfahrung, dass sich dann die Taue zusammenziehen würden, was denn auch geschah und die gewünschte Wirkung hatte. Nach Bädeker erhielt die Familie des Bresca (in Bordighera bei San Remo) zum Dank das bis heute bestehende Vorrecht, die Palmzweige für den Palmsonntag an die Peterskirche zu liefern.

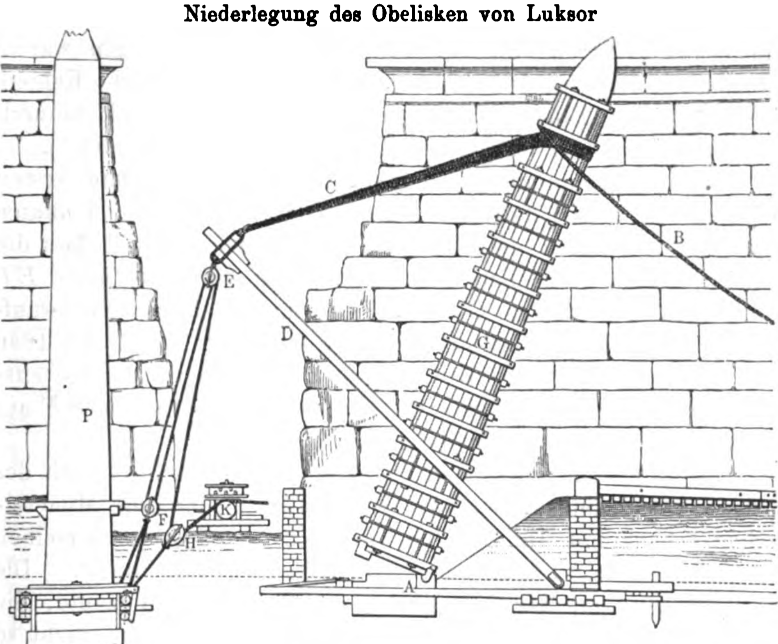
Dennoch bleibt ein eigenthümliches Bedenken übrig. Es ist das, dass so wenig Unterschied besteht zwischen den antiken Fortbewegungen in Aegypten und Assyrien, die wir oben betrachteten, und derjenigen, die drei bis vier Jahrtausende später in Rom ausgeführt wurde. Der Fortschritt ist nicht gross, oder doch nicht gross genug. Die Erdwinde ist zwar eingeschaltet und der Flaschenzug; indessen war letzterer in Aegypten völlig bekannt; und hatte bei der Fortschleppung der Lasten auf waagerechter Fläche auch nicht in Betracht kommen können. Das wichtigste Mittel war geblieben: viele, viele Menschenkräfte zusammenwirken zu lassen, damals indem man sie mit Händeklatschen und Flöte (in Indien), hier indem man sie mit Trompeten und Glocken zu gemeinsamer Willensäusserung veranlasste. Gross ist der Unterschied nicht; man könnte sich die drei grossen Arbeiten als nahe aufeinanderfolgend denken. Jedenfalls war bei Fontana das Beispiel des Archimedes, vermittelst einer kinematischen Vorrichtung ein kleines Häuflein Menschen zur Ausübung einer ganz gewaltigen Kraft zu befähigen, vergessen oder ganz unverstanden geblieben. Die Erbschaft Archimeds hatte Fontana nicht angetreten. Von andern Hinterlassenschaften des Alterthums galt zur selben Zeit gerade das Gegentheil, vor allem in der Baukunst; denn in dieser weist das Jahrhundert Michel Angelos namentlich in Italien die grossartigsten Leistungen auf. Die Mechanik dagegen war damals noch in einem Schlaf befangen, der den Archimedes vergessen liess, ein Schlaf, aus dem sie zu wecken, Galilei berufen war. Dieser trat im Anfang des folgenden Jahrhunderts mit jenen, allmählich gereiften Hauptarbeiten hervor, die unsre heutige wissenschaftliche Mechanik begründet haben. Seit dieser Zeit erst ist man in die Gesetze eingedrungen, die ein kurzes Jahrhundert nach Fontana schon das Verständniss hinaustragen sollten bis in die Sternenwelt.

Sehen wir nun zu, wie in Luksor im Jahre 1831 und danach in Paris 1836 bei Lösung einer ganz ähnlichen Aufgabe verfahren worden ist. Der niederzulegende und später wieder aufzustellende Obelisk war leichter, wog ohne die Holzbekleidung 230 000 kg gegen 327 600 des vatikanischen Steines; aber es wäre keine nennenswerthe Aenderung im Verfahren erforderlich geworden, wäre sein Gewicht auch ebensogross gewesen. Man baute die vom Ingenieur Mimerel angegebenen Vorrichtungen an dem Obelisken auf und vollzog am 31. Oktober 1831 die Niederlegung

des Steines in 25 Minuten mit einigen 30 Mann, von der Schifferkaste wie damals im alten Aegypten, nämlich mit Matrosen, welche zuerst einige Erdwinden, dann acht sechsseilige Flaschenzüge bedienten. Auf jedes Seil kam dabei eine Belastung von 2008 kg ohne die Reibung, mit derselben also etwa ebensoviel wie bei Fontanas 40 Flaschenzügen. Man hatte kein Gerüst aufgebaut wie Fontana, sondern sich überlegt, dass man gut thue, niemals die ganze Last des Obelisken zu heben oder beim Senken aufzunehmen, sondern so wenig davon, als irgend thunlich. Fig. 156 stellt die angewandte Vorrichtung in ihren wesentlichen Theilen dar.

Man hatte an der Fusskante A des Obelisken eine hölzerne Achse angebracht, die mit langem Halbzapfen in einem Holzlager

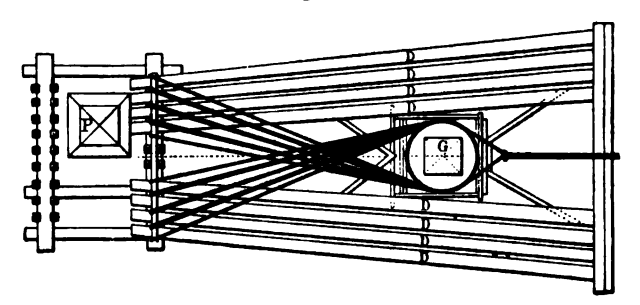
Fig. 156
Niederlegung des Obelisken von Luksor



lag; gegenüber am Fusse einer aufgebauten Stützmauer hatte man einen Balkenrahmen D ebenfalls drehbar gelagert und das obere Ende von D mit dem Obelisken durch Taue verbunden. Eine obere Ansicht des Rahmens D gibt Fig. 157. Taue B giengen vom Obeliskenhaupt an Erdwinden, mit denen man den

Schaft aus seiner senkrechten Lage zog. Nachdem sein Schwerpunkt die Lage über *A* überschritten hatte, musste ihm Widerstand durch *C* hindurch zugeleitet werden. Das geschah durch

Fig. 157



die Vermittlung der erwähnten acht Flaschenzüge, die von *E* nach *F*, *H* und *K* giengen, indem acht Mann deren Zugtaue, die etwas weiter ab um ruhende Rundhölzer geschlagen waren, abrutschen liessen. Die drehbare Trommel *K* hatte acht Kehlen, in denen die Taue mit zwei Umschlägen lagen und dadurch zwischen *K* und *H* in gleicher Spannung erhalten wurden*).

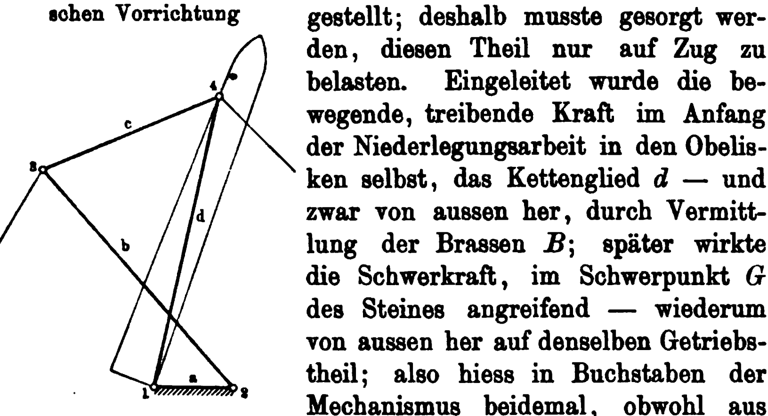
Diese Gesammtanlage hatte zur Folge, dass zum ersten Kippen des Steins statt des ganzen Gewichts wie bei Fontana, nur der 15te Theil desselben auf die Taue kam, und dass die stärkste Gesammtanspannung beim Senken in den Zügen *EF* nur 0,422 des ganzen Gewichtes betrug. — Beim Wiederaufrichten des Steines, das sich äusserer Umstände wegen bis 1836 verzögerte, wurden die Bewegungen in umgekehrter Folge ausgeführt; hierbei stellte sich die grösste Aufziehkraft in *EF* auf etwa die Hälfte des Steingewichtes.

Es fragt sich nun, worin das Wesen der Verschiedenheit der beiden Verfahrungsweisen, des Fontana'schen und des Mimerelschen, gelegen hat. Die einzelnen Geräthe waren doch von derselben Gattung, Seile, Flaschenzüge, Erdwinden, Balkenwerk. Die grössere Feinheit der Berechnung der statischen Momente, die die moderne Mechanik mit sich gebracht hatte, kann nicht so hoch angerechnet werden, um das Missverhältniss zwischen den aufgewandten Menschen- oder Muskelkräften erklärlich zu machen.

*) S. die eingehende Beschreibung in Schellens Schule der Elementarmechanik, Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn; die Geräthschaften Mimerels sind auf dem Sockel des Obelisken in Paris abgebildet.

Die Verschiedenheit liegt wo anders. Sie liegt darin, dass Mimerel Kinematik angewandt, nämlich aus den Geräthen geschlossene kinematische Vorrichtungen, ja geradezu einen zwangschlüssigen Mechanismus gemacht hatte, und dadurch die Kräfte in ganz anderer Weise beherrschen konnte als Fontana. Der Mechanismus ist der uns bereits bekannte $(C_4'')^a$, s. Fig. 158. Der feste Boden gab das fest aufgestellte Glied a ab, der Balkenrahmen D bildete die Koppel b, die Zugstränge C vertraten die Schwinge c, der Obelisk selber bildete den Lenkstab d. Die Koppel c war nur zugfest, nicht starr hergestellt; deshalb musste gesorgt werden, diesen Theil nur auf Zug zu belasten. Eingeleitet wurde die bewegende, treibende Kraft im Anfang der Niederlegungsarbeit in den Obelisken selbst, das Kettenglied d — und zwar von aussen her, durch Vermittlung der Brassen B; später wirkte die Schwerkraft, im Schwerpunkt G des Steines angreifend — wiederum von aussen her auf denselben Getriebstheil; also hiess in Buchstaben der Mechanismus beidemal, obwohl aus verschiedenen Gründen, $(C_4'')\frac{a}{d}$. Entgegengewirkt wurde der in G angreifenden Kraft durch die Reibungswiderstände an den Zugseilen der acht Flaschenzüge, Widerstände, die durch die tüchtigen Mannschaften, welche die Seile rutschen liessen, ohne Glocken und Trompeten geregelt wurden. Das Ganze war hiernach, indem noch ein beträchtlicher Theil der Bewegungsvorgänge von Willensäusserungen völlig abhängig war, zwar nicht völlig eine Maschine, aber eine, vermöge der Anwendung kinematischer Mittel hochentwickelte Geräthschaft*). Doch steht dieselbe einer vollständigen Maschine schon sehr nahe.

Fig. 158
Der Mechanismus der Mimerelschen Vorrichtung



*) Der Verfasser merkt noch an, dass er in jungen Jahren in einer Reihe von Fällen eiserne Schornsteine mit aufrichten geholfen hat, bei denen ein ganz ähnlicher Mechanismus, wie der Mimerels, zur Hebung diente; Grundplatte und Fuss der Esse waren vorsorglich schon mit dem Gelenk am Punkte 1, Fig. 158, ausgerüstet worden; der Rahmen D war durch einen einzigen, mit Seilen gehaltenen Baum vertreten.

Die neuere Zeit schlägt die Schwierigkeiten in der Aufgabe, grosse Lasten beträchtliche Strecken weit zu verlegen, nicht mehr hoch an, nachdem Uebung obendrein den Meister gemacht hat. Vor kurzer Zeit wurde in Neuyork ein grosses weites Bahnhofsgebäude von seinen Grundmauern abgehoben, einige hundert Fuss weit verschoben und unversehrt auf andere Grundmauern gesetzt, und zwar durch 14 Mann mit 14 Schraubwinden und einer Anzahl eiserner Trucke oder Rollgestelle. Auch in Deutschland wurde mit ähnlichen Geräthschaften im Vorjahre ein grosses Bahnhofsgebäude ohne Dienstunterbrechung durch eine kleine Mannschaft versetzt.

Soviel von ausgeführten Mechanismen und Geräthen für Ortsänderung. Diejenigen, mittelst deren Formänderungen bewirkt werden, setzen Vorbetrachtungen voraus, die wir erst weiter unten, anstellen können, weshalb geschichtliche Beispiele dazu hier noch keinen eigentlichen Nutzen gewähren können.

§. 37

Die Maschine

Im ersten Bande wurde schon gezeigt, dass die Bezeichnung Maschine von verschiedenen Schriftstellern verschieden gedeutet worden ist, weshalb ihr Geltungsbereich etwas unsicher, unbestimmt erscheint. Es ist daher nöthig, hier zunächst eine Verständigung dafür zu suchen, was der Techniker unter Maschine versteht, wenn man das Wesentliche heraushebt. Denn darauf kommt es an, nicht auf die logische Zergliederung seiner Auffassungen bis ins Einzelne. Der Techniker hat nämlich im allgemeinen eine zwar feste Vorstellung von dem, was er Maschine nennt, aber nicht eine ganz bestimmte, die er ohne Weiteres in Worte fassen könnte; dass aber Uebergänge zu Dingen, die nicht Maschine sind, vorkommen müssen, ist selbstverständlich. Wer sich von den praktischen Aufgaben weg hier zu tief in das logische Streitgebiet hineinbegibt, kommt leicht dazu, die Bezeichnung Maschine ins völlig Unbestimmte zu verdünnen, sodass sie dem Luftkreis ähnlich wird, wo der in den Aether übergeht. Das sehen wir an den sonst schätzenswerthen Versuchen Hartigs, bei denen das Geräth Schubkarren aus dem logischen

Läuterungsbad schliesslich als eine Maschine, und zwar ausdrücklich „als eine vollständige Maschine" hervorgeht*). Die Stellmacher werden sich wundern. Die Wahl dieses einen, übrigens etwas veralteten Beispiels als Gipfelsatzes, der alle Fragen abschliesst, ist befremdlich; da hätte doch wohl Wichtigeres näher gelegen.

Begreiflich ist, dass, seit man die Maschinen wissenschaftlich zu behandeln sucht, also den naiven Standpunkt verlassen hat, eine einmüthige Auffassung des Wortes nicht mehr ohne Weiteres da ist, weil demselben in der geschichtlichen Entwicklung der Maschine ein allmählich sich wandelnder Sinn untergelegt worden ist. Die Alten verbanden früh mit dem Worte wesentlich den Gedanken eines Hebezeuges für Lasten, das z. B. auf oder unter der Schaubühne, oder im Bauwesen angewandt wurde; allmählich erweiterte sich der Kreis auf die Wasserhebevorrichtungen, dann auf die Mühlen für allerlei Zerkleinerung. Der Maschinenbegriff heftete sich später gelegentlich fest an das Wort Mühle, wie sich in dem Wort „Bandmühle" für einen Bandwebstuhl (Mühlstuhl) zeigt. Umgekehrt verband sich in andern Fällen mit dem Wort Mühle die Vorstellung von vereinigten Maschinenwerken, weshalb im englischen Sprachgebiet zahlreiche Fabriken, obwohl in ihnen gar nichts gemahlen wird, Mühlen heissen. Seit anderthalb Jahrhunderten ist dann das Maschinenwesen so sehr gewachsen, dass auch manches Unmaschinliche Maschine genannt worden ist, wie z. B. in Norddeutschland der Küchenherd. Unter diesen Umständen wird es am besten sein, hier von solchen Beispielen auszugehen, bei denen die Benennung Maschine nicht bestritten wird, worauf wir, rückwärts schreitend, feststellen können, was ihnen wirklich und wesentlich gemeinsam ist.

Dass die „Dampfmaschine" eine Maschine ist, geben alle Kultursprachen zu. Man rechnet sie insbesondere zu den „Kraftmaschinen", d. i. denjenigen, vermittelst deren wir Naturkräfte nöthigen, gewisse Vorrichtungen zu treiben, in Bewegung zu erhalten, z. B. eine Mühle, oder eine Gruppe von Mahlgängen. Untersucht man nun die Dampfmaschine kinematisch, so findet man — ebenso unbestritten —, dass sie aus einer gewissen Anzahl von Mechanismen oder Getrieben (oder Trieben, vergl. S. 169) zu-

*) Dr. E. Hartig, Studien in der Praxis des Kaiserlichen Patentamtes, Leipzig 1890, S. 27.

sammengesetzt ist. Der eine Mechanismus treibt den andern, sodass alle zusammen sich bewegen und zu der Thätigkeit der Maschine beitragen. Der Verfasser hat u. a. gezeigt, dass die Wattische Dampfmaschine aus 14 Mechanismen besteht*). Die Dampfmaschine entnimmt dem Brennstoff, d. i. der Natur, die treibende Kraft Wärme, und bringt z. B. die entnommene Arbeitsstärke in einer sich drehenden Welle, die sie trotz beträchtlichen Widerständen in nahezu gleichförmiger Bewegung erhält, zur Wirkung.

Eine Kraftmaschine von dieser Wirkungsweise nennt man wohl noch insbesondere eine „Drehmaschine", indem man ihr als andere Klasse die „Hubmaschine", nämlich diejenige gegenüberstellt, in welcher die entnommene Arbeitsstärke nur in Kehrbewegungen, d. h. in hin- und her-, oder in auf- und abgehenden Bewegungen ausgeübt wird**). Die Hubdampfmaschinen wurden von den beiden zuerst erfunden und ausgebildet.

Als Wärmekraftquellen kann man in Vorrichtungen, die der Dampfmaschine in wesentlichen Punkten ähnlich sind, auch Leuchtgas, Petroleumdampf, Aetherdampf und Aehnliches, auch Gemische aus Gas und Wasserdampf benutzen, und hat hierfür die Gaskraftmaschinen oder -motoren, die Aethermaschinen, die Petrolgasmaschinen, die Gasdampfmaschinen u. a. m. ausgebildet. Alle diese Maschinen nennt man Kraftmaschinen und kann sie ebenso wie die vorige in Mechanismen zerlegen, ja muss dies thun, wenn man ihren Bau verstehen will.

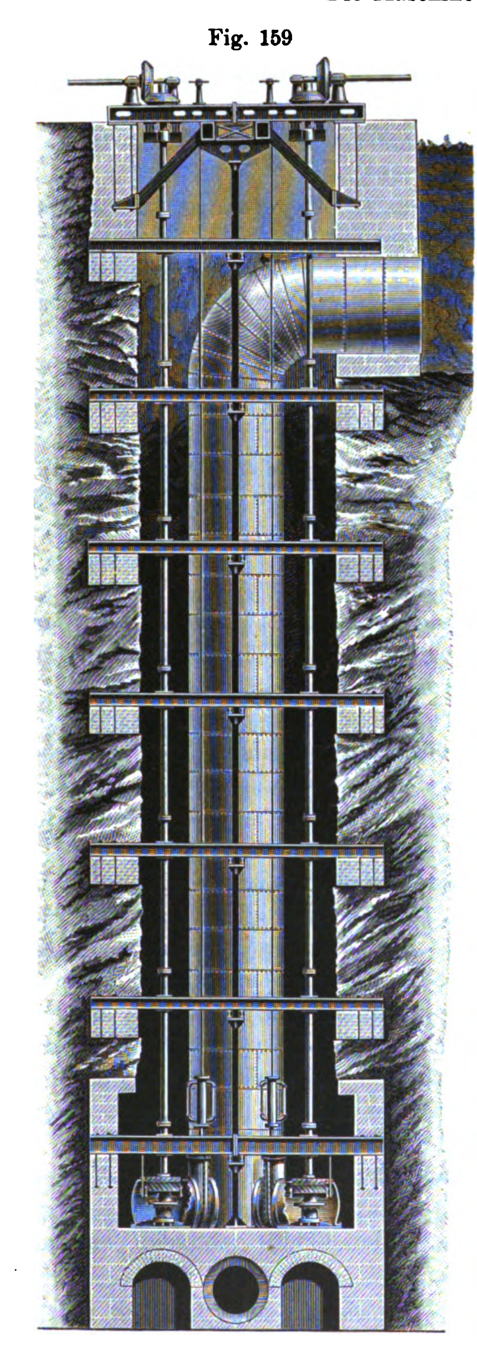
Wasser dient in Kraftmaschinen verschiedener Art als Kraftquelle, und zwar in den Wassersäulenmaschinen, die sowohl in Hub- als Drehmaschinenform gebraucht werden, sodann in den Wasserrädern und Turbinen; von beiden gibt es eine ziemliche Reihe von Bauarten. Die ältere Eintheilung in stehende und liegende Wasserräder hat ihren Werth verloren; es handelt sich vielmehr darum, ob das Wasser durch seine Last, man kann es nennen statisch, oder durch seine lebendige Kraft, d. i. dynamisch, treibend wirkt (vergl. Fig. 116d). Bei den Turbinen geschieht das letztere, ob liegend, ob stehend aufgestellt, bei den „Wasserrädern" das erstere; das Ponceletrad und das Peltonrad indessen,

---

*) S. Reuleaux, Kurzgefasste Geschichte der Dampfmaschine, Braunschweig 1891, S. 50; auch Scholls Führer des Maschinisten, XI. Aufl., S. 705.

**) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 923 bis 965, wo diese bedeutsame Eintheilung eingehend besprochen ist.

Fig. 159



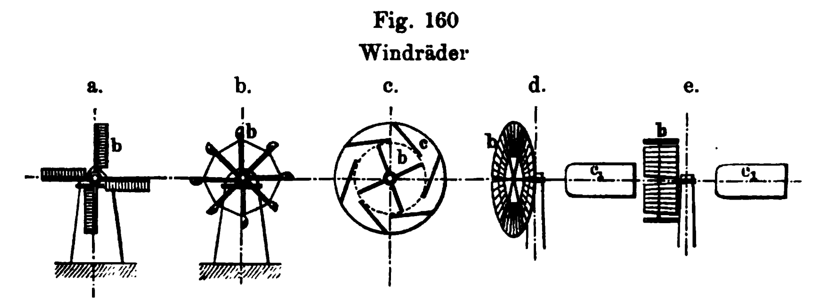
beide mit liegender Achse gebaut, sind Turbinen; eigentlich auch das unterschlächtige Rad. Diese haben im allgemeinen im Verhältniss zu den „statischen“ Rädern eine grosse Umfangsschnelle, vor allem bei hohem Gefälle. Sie gewähren daher den Vortheil, klein im Bau auszufallen. Dies zeigt sich z. B. recht auffallend bei den Niagaraturbinen. Fig. 159 gibt eine Ansicht der zum Betrieb der dortigen Papierfabrik dienenden Turbinenanlage, bestehend aus drei Rädern von je 1100 *PS*; diese haben 56″ oder 1,42 m Durchmesser; das Gefälle beträgt 44,2 m, die sekundliche Wassermenge für jedes einzelne Rad 2,45 cbm. Das Aufschlagrohr hat 4,12 m Weite und soll später noch eine vierte, den dreien gleiche Turbine speisen*). Den erwähnten Vortheil hat man in neuerer Zeit mit Erfolg auch auf den Dampf übertragen. De Laval in Schweden und Parson in England haben sehr wirksame Dampfturbinen

*) S. Cassiers Magazine, Bd. VII (1894) S. 85.

in die Industrie eingeführt. Parsons Torpedoboot Turbinia wird von drei 700pferdigen Dampfturbinen, deren jede drei Triebschrauben auf ihrer Welle trägt, mit 7 kg Dampfverbrauch auf die Pferdestärke betrieben und hat bei den Probefahrten im Mittel $22^3/_4$ Knoten Fahrschnelle gezeigt*).

Das Windrad oder Windmühlenrad entnimmt Arbeitsstärke der bewegten Luft und gibt sie in der Form von Drehung unter Ueberwindung von Widerständen ab. Fig. 160 zeigt seine ge-

Fig. 160
Windräder



bräuchlichsten Formen. a deutsches und holländisches Windmühlenrad mit Schraubenflächen an den Flügeln, b griechisches und anatolisches mit löffelförmigen Schaufeln, c polnisches Windrad mit feststehenden Leitschaufeln, d amerikanisches Windrad von Hallady mit schmalen hölzernen Schaufeln, die bei starkem Wind, wie unter e gezeigt, in eine fast wirkungslose Lage gedrückt werden, aus der ein Gegengewicht sie bei nachlassendem Winddruck wieder aufrichtet.

Die sämmtlichen genannten Kraftmaschinen sind als wirkliche Maschinen anerkannt, bestehen wie die erstgenannte aus Mechanismen und geben die der Natur abgewonnene Arbeitsstärke in bestimmter Weise, sei es unter Drehung, sei es unter Hubbewegung, ab. Ueberblicken wir die ganze Reihe, so erkennen wir, dass wir in rascher Ueberschau die wesentlichsten Kraftmaschinen, deren sich überhaupt die Industrie bedient, vor uns gehabt haben, und ferner, dass in ihnen allen Druckelemente oder Flude als Kraftquellen benutzt sind.

Letzterer Umstand ist auffallend. In der That ist es bemerkenswerth, dass in der Natur das Arbeitsvermögen sich wesentlich an Druckelemente oder Flude gebunden vorfindet.

---

*) S. u. a. Scientific American Supplement vom 26. Juni 1897, S. 17920.

Fallende Wasser, Gase, Dämpfe, Wind vollziehen jahraus, jahrein, oder doch durch längere Zeitabschnitte von selbst, oder aber von uns angeregt — Brennstoffe — mechanische Zustandsänderungen, bei denen Arbeit ausgeübt wird; von dieser kann durch Maschinen ein beträchtlicher Theil für uns gewonnen und nutzbar gemacht werden. Alle genannten arbeitleistenden Körper sind Flude. Aber auch die Muskelkraft, mit der wir manche Maschinen treiben, gelangt, wie unten noch näher zu zeigen sein wird, durch Flüssigkeiten zur Aeusserung. Wirkt nun z. B. das Pferd durch sein Gewicht, das auf seinen Beinen abwärts pendelt, auf den Göpelarm, so geschieht dies in zweiter Ordnung, indem das jedesmalige Heben seines Gewichtes, das pendelartige Hinaufschwingen desselben, in erster Ordnung durch Muskelkraft bewirkt wird. Man könnte noch die treibende Feder einer Uhr, eines Laufwerkes, oder das Treibgewicht an Uhren, Laufwerken, Läutewerken, Telegraphen usw. entgegenhalten, die die bisherige angewandte Mechanik als Kraftquellen nennt; allein beide, Feder und Gewicht wirken nur mittelbar als Kraftträger, indem sie Arbeitssammlern oder Haltungen angehören (s. unten), die entweder durch Muskelkraft, oder durch andere Maschinen „aufgezogen“ werden. Auch bei ihnen liegt also die Kraftquelle in einem Flud oder Druckelement 3.

Unmöglich wäre es nicht, dass starre Körper in Gefällen als natürliche Kraftgeber benutzt würden. Aber es sind keine da, die dauernd und überhaupt gut zugänglich wären; denn Gesteinsmassen, die rutschen oder allmählich sinken, vermögen wir nicht technisch auszunutzen. Die elektrische Kraft benutzen wir heute vorzugsweise als Vermittlerin, als Uebertragerin anderweitig entnommener Naturkräfte; wenn es aber auch gelingt, sie unmittelbar der Natur abzugewinnen, wie wir in kleinerem Maſsstab bei den galvanischen Batterien thun, so haben wir sie auch als an ein Flud gebunden anzusehen, abgesehen davon, dass wir ja auch jetzt schon von der elektrischen Bewegung als von derjenigen eines „Fluidums“ sprechen.

So erweist es sich denn als etwas in der Art und Lage der körperlichen Dinge natürlich Begründetes, dass bei Entwicklung der „Kraftmaschinen“ die Paarungen und kinematischen Verkettungen mit der Elementengattung 3, dem Flud, zuerst geund erfunden und durch Mechanismen anwendbar gemacht worden sind, ganz zu Anfang diejenigen mit Wasser, später die

mit Wind, danach die mit Dämpfen und Gasen, und zuletzt in ihren ersten Versuchen die mit elektrischem Flud.

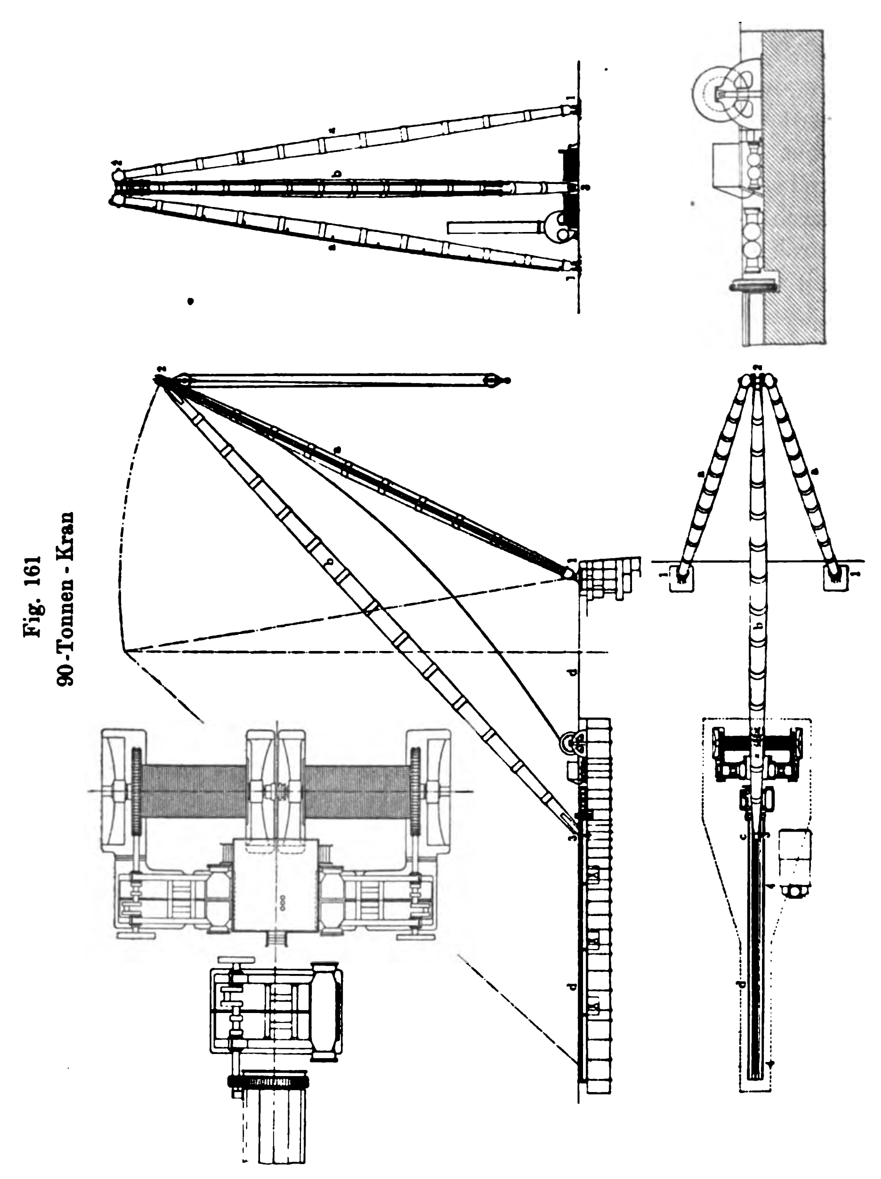
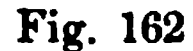
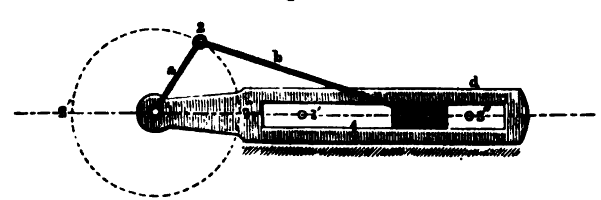


Fig. 161
90-Tonnen-Kran

Bei den „Arbeitsmaschinen", d. i. denjenigen Maschinen, durch welche wir eine bestimmte Zustandsänderung an ge-

gebenen Körpern oder körperlichen Gebilden erstreben, wollen wir, wie oben schon geschehen, vorerst die Ortsänderungen in Betracht ziehen, und später erst die formändernden Maschinen in Beispielen heranziehen. Als Aufgabe stellte sich schon früh, wie wir gesehen, das Heben von schweren, meist festen Körpern, überhaupt aber von Lasten, ein. Es werde deshalb ein mächtiger Mastenkran*) für Lasten bis zu 90 t, Fig. 161, zuerst betrachtet. Sein auffallendster Mechanismus ist der aus den Masten *a* und *b* und nächstem Zubehör bestehende. Er ist ein Kurbelgetriebe, bestehend aus drei Cylinderpaaren 1, 2, 3 und einem zu 1 rechtwinkligen Prismenpaar 4 — ein solches wird in der Zeichensprache durch (P) bezeichnet — wie Fig. 162 andeutet, indem die


Fig. 162



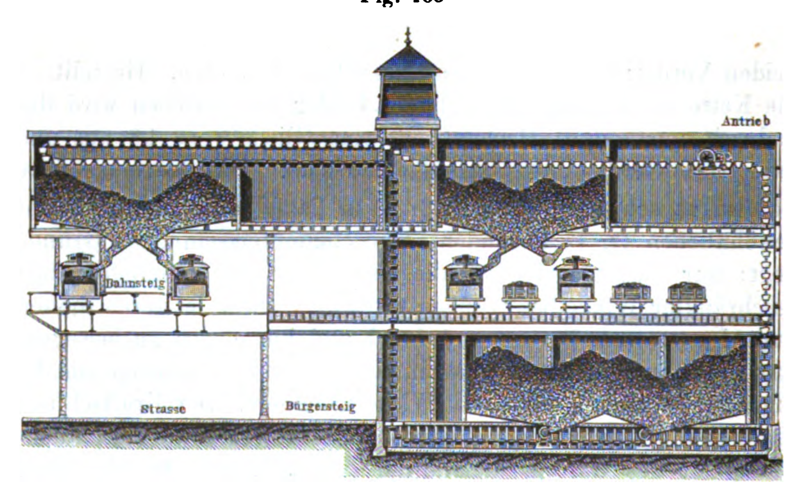
beiden Vordermasten *a* ein einziges Stück bedeuten. Gestellt ist die Kette $(C_2''P^{\perp})$ auf das Glied 1.4 oder d; getrieben wird der dadurch entstandene Mechanismus vom Gliede $c = 4.3$ aus und zwar vermittelst eines Schraubengetriebes. Das Kurbelgetriebe ist also zu schreiben $(C_2''P^{\perp})\frac{d}{c}$. Es ist dasselbe Getriebe, das der gewöhnlichen (z. B. liegenden) Kurbeldampfmaschine zu Grunde liegt; nur macht bei dieser die Kurbel *a* volle Drehungen statt beschränkter Winkelbewegungen wie hier. Diese letzteren dienen dazu, Lasten vom Wasser aufs Land und umgekehrt zu bewegen; zum Heben und Senken der Lasten dienen zwei Flaschenzüge und die zugehörigen zwei Winden mit Wickeltrommeln. Der Kraftschluss, mit dem die Flaschenzüge arbeiten, ist nicht gegen die Maschinenmässigkeit des Ganzen anzuführen (vergl. §. 32); besteht doch auch kein Zweifel, dass die Lokomotive, die kraftschlüssig sowohl auf den Schienen geleitet wird, als ihre Triebkraft an den Radumfängen ausübt, eine Maschine ist. Der Kraftschluss ist bei

*) Das Wort „Kran" ist in allen Kultursprachen von dem Namen des Vogels, der seinen Schnabel über das Wasser streckt, abgeleitet, allermeist von Kranich, weshalb die Schreibweise Krahn unrichtig ist, die sich einschleichende Mehrzahl „Krähne" noch mehr. Man bedenke nur Schiller.

dem Mastenkran in sehr viel höherem Grade ausreichend, als bei der Lokomotive. Unser Kran als Arbeitsmaschine besteht hiernach aus sechs Mechanismen und wirkt, wenn betrieben, derart auf angehängte Lasten, dass er sie in bestimmten Bahnen führt und in bestimmter Weise auf und nieder bewegt. Betrieben wird die Arbeitsmaschine Mastenkran durch drei Dampfmaschinen, je eine für jede Winde und eine für das Schraubengetriebe. Die Dampfmaschinen haben einen gemeinsamen Dampfkessel und werden von einem gemeinsamen Führerstand aus geleitet. Die beiden Winden sind auch einzeln betreibbar, weil es sich auch um kleinere Lasten handeln kann. Scheerenkrane hat man Krane der vorliegenden Bauart auch genannt, weil die Glieder *b* und *aa* sich ähnlich Scheerenbeinen gegeneinander bewegen*).

Eine Arbeitsmaschine zum stetigen Weiterschaffen von Fördergut ist der von C. W. Hunt in eine ganze Reihe von Formen gebrachte und in solchen ausgeführte Umlader, dessen Becherkette bereits oben, Fig. 163, als Schleppkette angeführt wurde.

Fig. 163



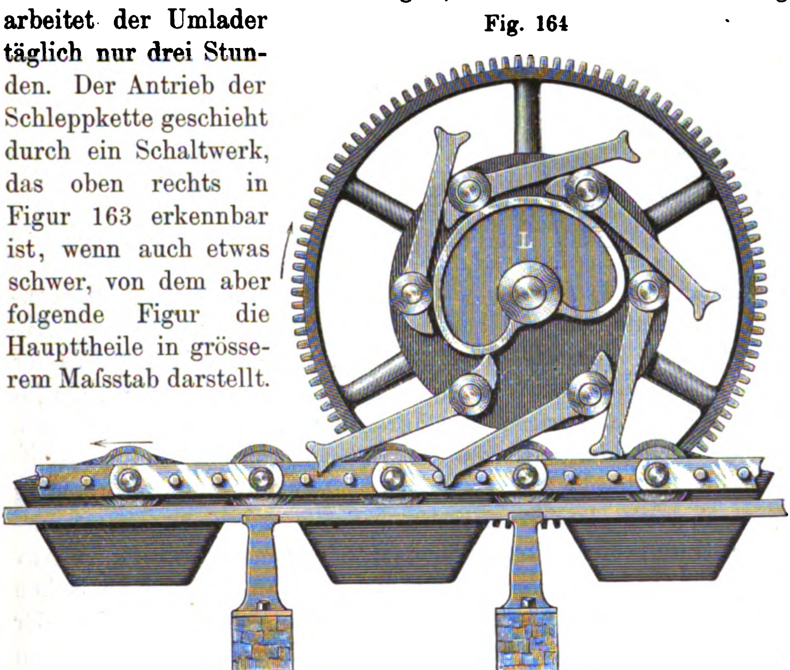
Als Beispiel sei der Umlader auf einer Kohlenstation der Neuyorker Hochbahn**) vorgeführt. Die Kohlen werden mit Hoch-

*) Vergl. auch einen Kran von nahe verwandter Bauart in Herrmann-Weisbachs Mechanik, III 2, S. 240.

**) An der Fifth Avenue.

bahnzügen rechts zugeführt und aus den mit Trichterböden versehenen Wagen in ein ebenerdiges Kohlenmagazin gestürzt. Das Magazin geht unten in zwei Schüttrümpfe aus. An einem von diesen, je nach der Einstellung, füllen sich die Becher der Kette, die nach links fortschreitend hinaufsteigt bis unter das Dach und dort in eines von den, auf dem zweiten Stockwerk liegenden Magazinen ausschüttet, und zwar an Punkten, an denen ein Vorstoss angebracht wird, der die ankommenden Becher zum Kippen bringt. Aus diesen Hochbehältern werden die Tender vermittelst stellbarer Trichter gefüllt. An einer solchen Kohlenstation werden vierzig Lokomotiven jede achtmal des Tages bekohlt (wie man es nennt), was jedesmal in 10 Sekunden vollführt wird. Die Bedienung des Umladers wird durch nur zwei Mann, den Maschinenwärter und einen Arbeiter vollzogen; für die erwähnte Bekohlung arbeitet der Umlader täglich nur drei Stunden. Der Antrieb der Schleppkette geschieht durch ein Schaltwerk, das oben rechts in Figur 163 erkennbar ist, wenn auch etwas schwer, von dem aber folgende Figur die Haupttheile in grösserem Mafsstab darstellt.

Fig. 164

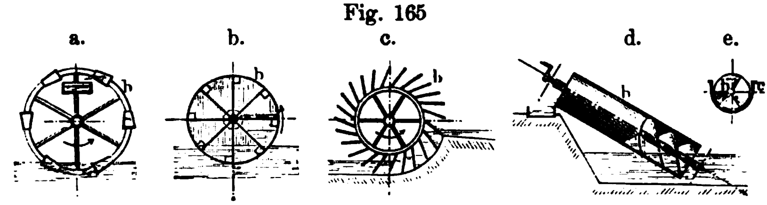


Mittelst des Zahnrades führt eine Scheibe in regelmäfsigem Lauf sechs Schaltklinken um die feststehende Leitscheibe L herum. Wenigstens eine der Schaltklinken ist immer im Eingriff mit einem der, seitlich aus den Kettengliedern hervorschauenden Zäpfchen und wird dann, nachdem die nachfolgende Klinke in

Eingriff gelangt ist, durch die Leitscheibe ausgehoben*). Manchmal dient zum Betrieb des Schaltwerkes eine unmittelbar ihm angeschlossene Dampfmaschine; in der obigen Anlage wird aber das Schaltwerk mittelst Riemen von einer kleinen Dampfmaschine mit Zwergkessel aus betrieben. Die Zusammensetzung des vorliegenden Umladers aus einer Reihe von Mechanismen liegt klar vor, ebenso die, je nach Bedarf veränderbare Einwirkung auf das Fördergut unter bestimmten Bewegungen.

Das Fördergut ist im vorstehenden Falle ein körneriges Flud, weshalb es auch in Bechern, die an Zapfen pendelartig aufgehängt sind, befördert wird. Eine wirkliche vollständige Flüssigkeit zu heben, nämlich Wasser, ist eine Aufgabe, die schon in frühen Zeiten Lösung in Maschinen gefunden hat, und zwar recht einfach durch Räder, siehe Fig. 165 unter a, b und c. a Schöpfrad mit Kübeln, welche, wenn das Rad getrieben wird, sich unten mit Wasser füllen und es oben in eine Rinne ausgiessen.

Fig. 165

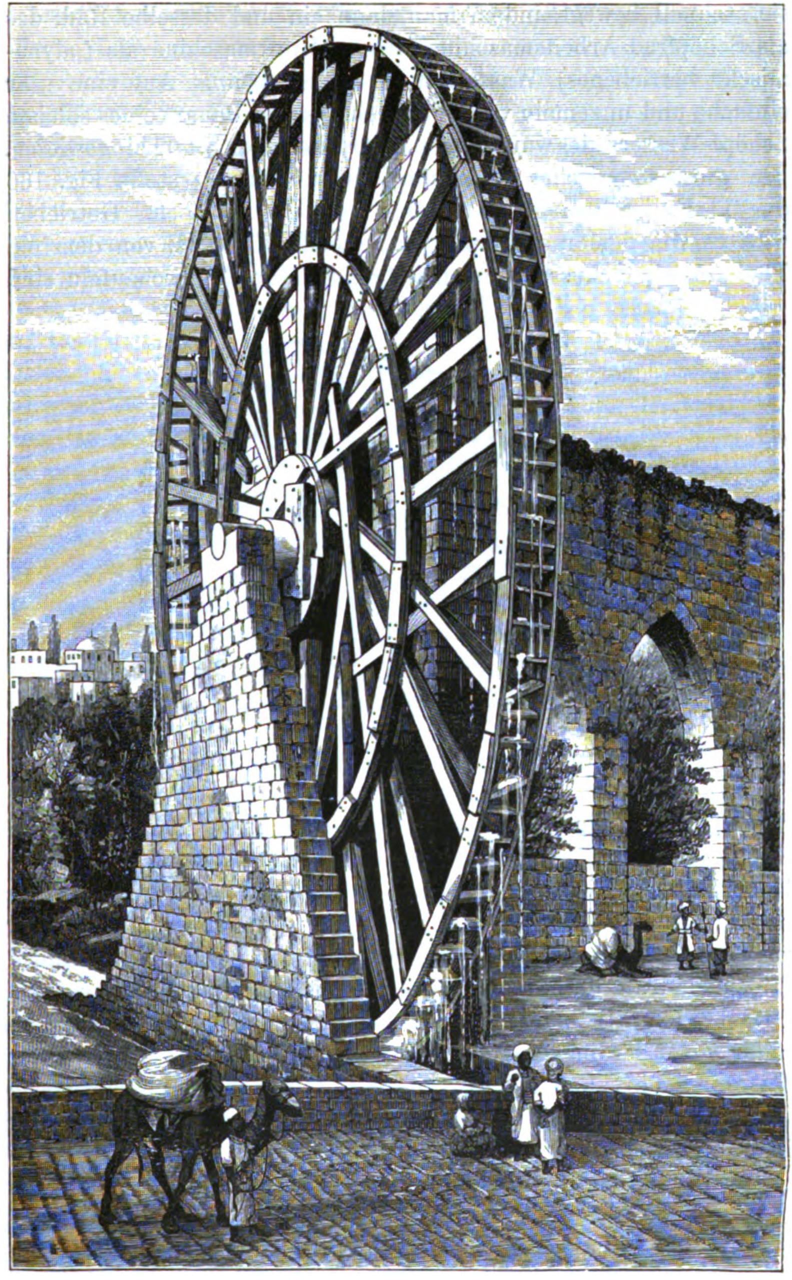


b sogenanntes Tympanon, schon bei den Alten, und im Morgenland bis heute zur Feldbewässerung gebraucht; die acht Abschnitte der Trommel füllen sich unten theilweis mit Wasser und giessen dieses auf der Achsenhöhe, also weniger hoch als im Falle a, aus. c Wurfrad zum Fördern von Wasser auf geringere Höhen, in Poldern vielfach im Gebrauch**); d und e archimedische Schraube zur Wasser-, überhaupt Fludbeförderung (vergl. S. 159). Der Betrieb dieser Schöpfmaschinen erfolgt entweder durch Muskelkraft oder durch Elementarkraft; Vitruv beschreibt (X, 10) eingehend, wie das Tympanum durch Menschen umgetrieben, nämlich getreten werde. Naheliegend ist der Maschinenbetrieb, namentlich beim Schöpfrad a, an solchen

*) Ein Schaltwerk etwas anderer Bauart ist in meiner oben, S. 158, angeführten Veröffentlichung beschrieben.

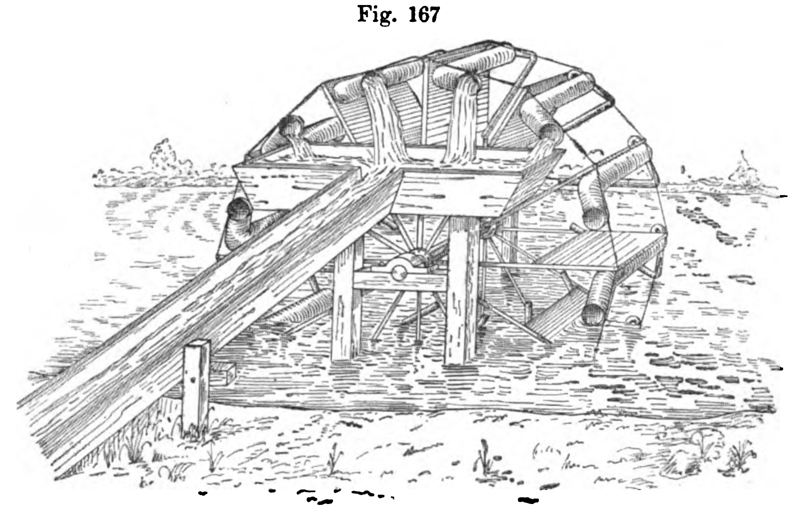
**) Grossartiges Wurfrad-Schöpfwerk am Nil mit acht gewaltigen, mittelst Dampfmaschinen betriebenen Rädern, s. Konstr., IV. Aufl., S. 887. Ganz neuerdings hat die A. E. Gesellschaft im Memeldelta sechs elektrisch betriebene Schöpfräder aufgestellt.

Fig. 166, Schöpfrad in Hamath in Syrien



Stellen, wo das Wasser in der Rinne, aus der geschöpft wird, sich schnell bewegt, indem man dann ein und dasselbe Rad, das als Schöpfrad Arbeitsmaschine ist, zur Kraftmaschine als („dynamisch“ betriebenes) Wasserrad ausbilden kann. Auf eine sehr einfache und ungemein verbreitete chinesische Bauart eines solchen Schöpf-Wasserrades wurde schon im ersten Bande S. 202 hingewiesen. Ein grosses syrisches Wasserrad dieser Gattung stellt Fig. 166 dar*). Es ist über 80′ engl. oder rund $24^1/_2$ m hoch. Getrieben wird es von dem rasch dahin schiessenden Orontes, von dem ein Theil in ein Schussgerinne geleitet ist. Die Treibschaufeln sind

Fig. 167



flache Bretter; die Kübel sieht man oben ihren Inhalt in einen Kanal ausgiessen. Solcher Räder versorgen sechs Stück die Stadt Hamath mit frischem Wasser; jedes derselben gehört einer besonderen Gesellschaft. Dass die Ausbesserungen viel Geld verschlingen mögen, macht die Abbildung glaubhaft. Aehnliche Räder sind in der Stadt Horus, am selben Flusse weiter oben, im Gebrauch. In Spanien gibt es auch viele solcher Bewässerungsräder von allerdings weit geringerer Grösse, die die Araber ihrer Zeit eingeführt haben. Die neueste Zeit hat das beschriebene Rad, dessen arabischer Name Noriah, zu deutsch etwa „der Schnauber“ ist, in entsprechend verbesserter Form, die obige Figur 167 darstellt, wieder erstehen lassen. Sie rührt von den

*) Nach Scientific American 1887, 29. Januar.

Herren Coursac und Pascault her*). Statt der Kübel sind quer gehende Röhren aus Zink benutzt, denen durch radiale Ansatzröhren Luft zugeführt wird, die das Ausfliessen erleichtert und das Schnauben beseitigt. Bei der kleinsten Schnelle des treibenden Stroms werden 3,84 cbm auf 1,5 m und bei der grössten 24,18 cbm auf 1,52 m in der Stunde gehoben.

Die Mühlen mit flachen Mahlsteinen begannen etwa ein Jahrhundert v. Chr. die älteren, unsrer Kaffeemühle in den Zerreibersteinen ähnlichen Mühlen zu verdrängen; sie wurden schon sehr früh durch Wasserräder getrieben. Wir berühren, indem wir sie etwas näher betrachten, oberflächlich die von Maschinen bewirkten Formänderungen. Unser Mühlstuhl ist eine Arbeitsmaschine, bestehend aus einer kleinen Reihe von Mechanismen von bestimmter Wirkung; zu ihm haben sich für die Getreidezerkleinerung allmählich zahlreiche Hülfsmaschinen gesellt, mittelst deren sowohl die Körnerfrucht, als das Mahlgut auch im Einzelnen bearbeitet wird. Der Walzenmahlstuhl von Mechwart**) hat noch den Kraftschluss, mit dem der Läuferstein gegen die Körner gepresst wird, durch Paarschluss in sehr vollkommener Weise ersetzt. Mechwart ist mit dieser seiner Neuerung auf jenem schon im ersten Bande aufgezeigten Wege vorangeschritten, auf dem die Maschine allmählich zur Vervollkommnung geführt worden ist: die Ersetzung des Kraftschlusses, wo er noch Mängel in sich schliesst, durch kinematischen Paarschluss.

Eine bemerkenswerthe Anwendung findet die Geiserpumpe (vergl. S. 158) bei der Tiefgründung von Pfeilern in geschiebigem Boden***). Der Aufbau des Pfeilers wird mit Hülfe der Taucherglocke bewirkt, aber nicht wie bei den Brückenpfeilern, indem man innerhalb des Luftkastens gräbt und dann baut, sondern indem man den Pfeilerschuh als Taucherglocke ausbildet. Im Innern desselben wird durch Pressluft der Wasserzufluss abgeschlossen; auf seiner Decke mauert man im Freien den Pfeiler auf um so viel, als der Schuh niedergeht, vergleiche die Fig. 168. Von derselben Pressluft lässt man durch die Geiserpumpe das losgehackte nasse Geschiebe nach oben treiben, wie die Figur deutlich macht, ein Verfahren, das sich auch beim Bau untergetauchter Tunnel verwenden liesse. Wenn der Pfeilerschuh auf

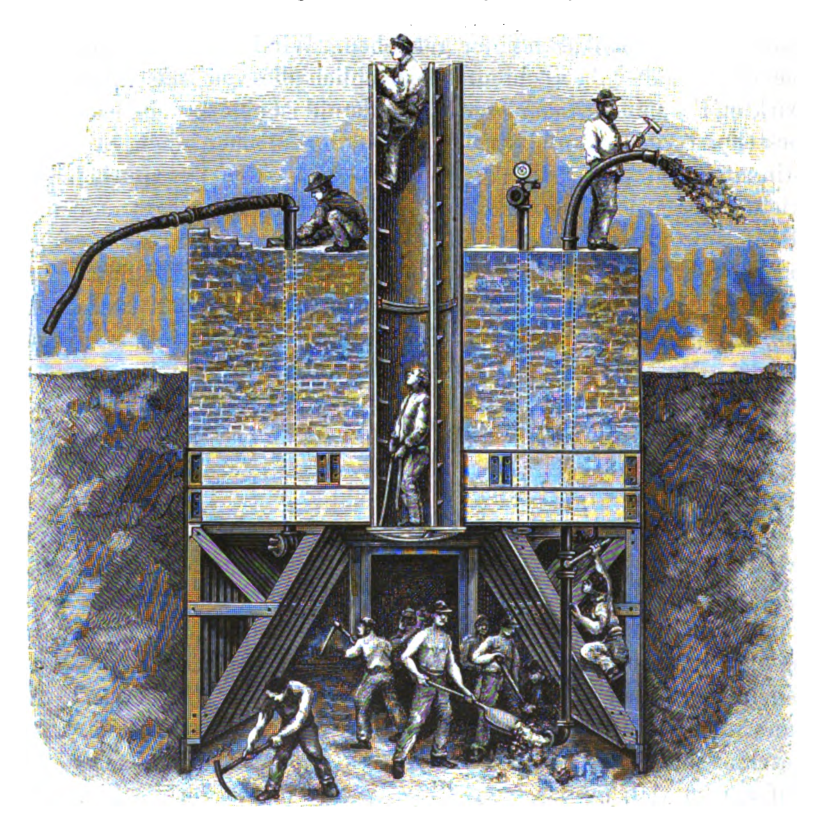
*) Vergl. Prometheus Nr. 108, Jahrg. VIII, 1897.
**) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 513.
***) Nach Ch. Sooysmith, Engineering Magazine, April 1897, S. 20.

dem festen Untergrund angelangt ist, wird dieser geebnet und darauf das ganze Innere der Glocke mit Zement vollgegossen.

Das Wegnehmen von stofflichen Theilen behufs bestimmter Formung des Werkstückes geschieht in den Holz- und Metallbearbeitungsmaschinen. Als Beispiel diene eine Drehbank neuer Bauart, bestimmt zum Abdrehen von Messingstücken, die in

Fig. 168

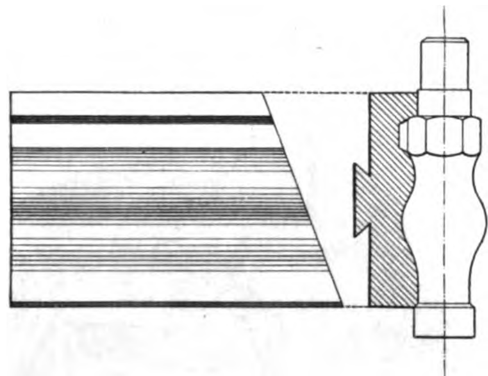
Taucherglocke für Pfeilergründungen



grosser Anzahl zu liefern sind. Der Drehstahl, ein sogenannter Karniesstichel, Fig. 169, hat das Längenprofil des abzudrehenden Messingstückes an seiner Schneide. Fig. 170 stellt die Drehbank selber dar. Die Drehbankspindel wird durch Riementrieb im Sinne der angegebenen Pfeilrichtung — d. i. entgegen der üblichen Umlaufrichtung — gedreht, indem der Stichel unter

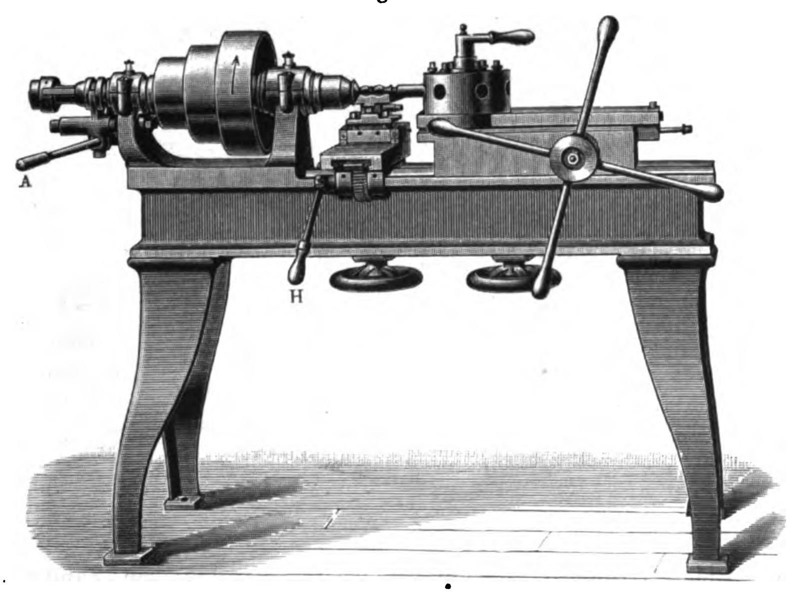
dem Werkstück gelagert ist und mittelst des Handhebels *H* nach der Mitte hin verschoben wird. Der Stichel fängt vermöge


Fig. 169



seiner schrägen Anschleifung an einem Ende des Werkstückes zu schneiden an und vollzieht fortschreitend dessen Profilirung


Fig. 170



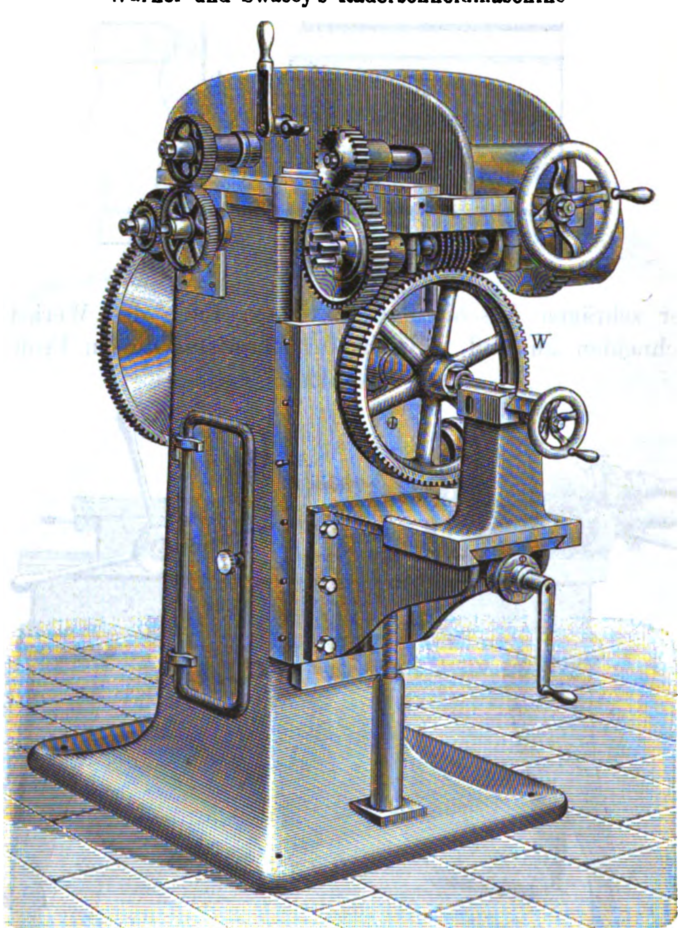
in kurzer Zeit und bei nur einer einzigen Handhabung. Da man dem Stichel das Karniesprofil seiner ganzen Länge nach gegeben hat, kann man ihn durch einfaches Anschleifen immer wieder

richtig schärfen. Mit dem Ausrückhebel *A* wird die Spindel still gestellt, um ein neues Werkstück vorlegen zu können *).

Eine neuere, vorzügliche Arbeitsmaschine zum Räderschneiden stellt Fig. 171 dar **). Sie ist nach einem fruchtbaren kine-

Fig. 171

Warner und Swasey's Räderschneidmaschine



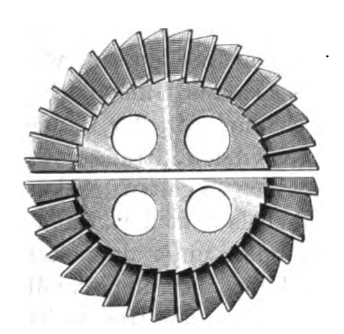
matischen Grundsatz gebaut. Es ist der, dass ein Zahnrad, welches mit „Satzräderverzahnung" ausgerüstet ist, bei seiner rela-

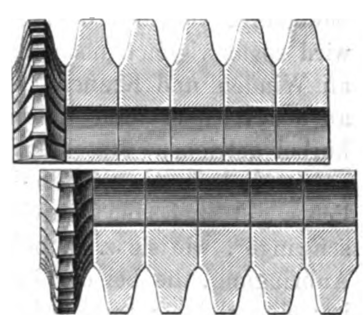
*) Vergl. Reuleaux, Mittheilungen über die amerikanische Maschinenindustrie in den Berliner Verhandlungen 1894, S. 241.

**) Ebenda, S. 248.

tiven Drehung gegen die Achse eines zu bildenden Rades an diesem Zahnprofile geometrisch umhüllt, welche abermals der gewählten Satzräderverzahnung entsprechen. Als das bereits ausgerüstete Zahnrad ist hier dasjenige von unendlichem Halbmesser, d. i. die Zahnstange, gewählt, diese aber als Fräse ausgeführt. Auf der Maschine wird nun das Werkstück, d. i. das zu schneidende Rad, das an Rand und Nabe vorher fertig gedreht ist, langsam durch das Radwerk der Maschine um seine Achse gedreht, und gleichzeitig die sich drehende Fräse, Fig. 172, so vorgeschoben, wie

Fig. 172





die Zahnstange zu schieben wäre, wenn sie in das zu bildende Rad eingreifen sollte. In Folge dieser gegenseitigen Bewegungen von Rad und Fräse schneidet letztere in ersteres die richtige Satzräderverzahnung ein. Hierbei rückt die Fräse in ihrer Achsenrichtung vor. Man hat ihr hier sechs Zahntheilungen gegeben; nach Durchlaufung von fünf Theilungen würde demnach die Fräswirkung ihr Ende erreicht haben. Dem vorzubeugen, und die Fräse durch ungezählte Theilungen wirken lassen zu können, ist sie ihrer geometrischen Achse nach in zwei gleiche Theile getheilt, Fig. 172, von denen die obere, nicht schneidende Hälfte nach jedem Theilungsschritt durch Kurvenschub in ihre Ausgangsstellung zurückgeführt wird; dies wiederholt sich bei der andern Hälfte, sowie diese nach oben gelangt. Auf die Zähnezahl des zu schneidenden Rades kommt es nicht an; demnach braucht man bloss eine einzige Fräse für jede Theilung. Die Maschine wird für die feineren Theilungen, etwa herauf bis zu 30 mm, gebraucht. Sie besteht aus acht Hauptmechanismen und stellt in ihrer Zusammensetzung sowohl, als in ihrer vorzüglichen Wirkung einen Triumpf der angewandten Kinematik dar, bestätigt aber auch vollauf die oben ausgesprochenen Sätze vom Wesen der Maschine.

Wir haben endlich noch von solchen Maschinen oder Vorrichtungen zu sprechen, welche durch Muskelkraft, und insbesondere durch Menschenhand bewegt werden. Hier bestehen gewisse Schwierigkeiten in der theoretischen Beurtheilung, weil die Muskelthätigkeit des belebten Wesens, das die Maschine betreibt, der einzuleitenden Bewegungsart angepasst werden muss. Am einfachsten gelingt dies noch bei der „Handkurbel“, da die Muskelarbeit des Menschen hier an einem einzigen Elementenpaar anzuwenden ist. Wenn hier die erforderliche Kraft und zugleich der Wille vorhanden ist, so kann in die Kurbel nur Drehbewegung, vorwärts oder rückwärts, eingeleitet werden; letztere wird sogar vielfach noch durch ein Gesperre ausgeschlossen, wie an Winden und Kranen, vergl. auch die sperrende Gummikugel an der Wheeler- und Wilson'schen Nähmaschine. Mit der Handkurbel getriebene Maschinen, als Häspel, Seilwinden, Krane usw., haben deshalb als vollständige Arbeitsmaschinen zu gelten. Aehnliches gilt auch vom Betrieb mittelst Handhebels oder der „Handschwinge“, wie sie z. B. bei Handpumpen, oder, unter doppelter Anbringung, die bei der Feuerspritze von Alters her angewandt ist; eine kleine Schwäche liegt hier nur darin, dass der Hub meist innerhalb gewisser Grenzen beliebig wählbar ist; davon wird man aber absehen dürfen.

Beim Betreiben mit der „Handspeiche“ oder „Handspake“ ist die Sache insofern verwickelter, als nun der ganze Körper, nicht bloss Hand und Arm, die Drehung unter Anstemmen und Schreiten mitmachen muss; unsre Fontana'sche Abbildung S. 205 stellte das vorzüglich dar. In Waarenspeichern bedient man sich zum Aufziehen leichter Lasten des „Tummelbaums“, der der Erdwinde sehr ähnlich ist, manchmal aber nicht durch Treibung, sondern durch Wicklung wirkt. Auf den Schiffen kommt, soweit noch nicht der Dampf davon Besitz genommen, am „Gangspill“ die Handspeiche zur Verwendung. Das Gehen und Schreiten könnte im Namen der Vorrichtung ausgedrückt sein, wenn „Gang“ nicht den Aufstellungsplatz andeuten soll; woher der Name des „Bratspills“ kommt, scheint noch nicht festgestellt zu sein. Ob Erdwinde, Tummelbaum und Gang- oder Bratspill zu den vollständigen Maschinen zu rechnen sind, ist theoretisch recht zweifelhaft, zumal alle noch des Abziehens des ablaufenden Trums bedürfen (vergl. Fig. 107 b); für die Praxis dagegen hängt es von Beschlüssen ab, könnte man sagen. Denkt man sich die

Trommelachse waagerecht gelegt, oder sieht man dergleichen ausgeführt, wo dann die Handspaken in senkrechter Ebene zu

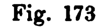
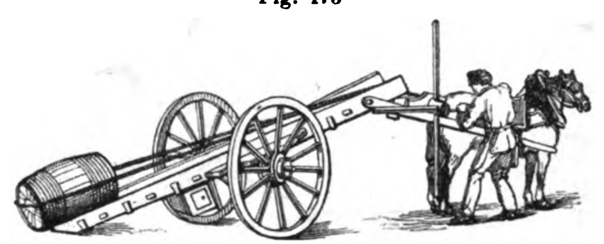


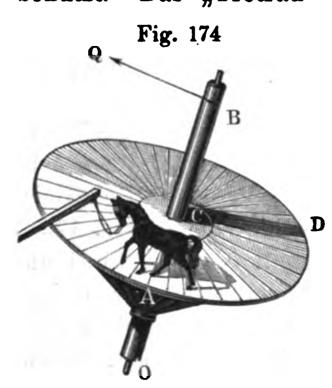
Fig. 173



betreiben sind, so entschwindet einem die Möglichkeit, etwas anderes als ein Geräth in der Vorrichtung zu erblicken, vergl. Fig. 173.

Im „Göpel“, betrieben durch Pferd, Maulthier, Büffel, Kameel, haben wir wesentlich eine Kraftmaschine vor uns, nicht eine Arbeitsmaschine. Der Pferdegöpel, von dem her die Einheit der Arbeitsstärke ihren Namen „Pferdestärke“, *PS*, bezogen hat, wird denn auch bei den mannigfachsten Betrieben als Kraftmaschine benutzt. Das „Tretrad“ ist ebenfalls eine durch Muskelkraft betriebene Kraftmaschine; es kommt in mehreren Formen vor: als Hohlrad inwendig unten durch tretende Menschen oder manchmal auch Thiere betrieben, als Vollrad nahe oben von aussen, als Tretscheibe in Plankegelform von Menschen, nicht selten auch von einem Pferd umgetrieben, siehe Fig. 174. Strafgefangene hat man in grausamer Weise am Kletterseil, das zwei Riemscheiben umspannt, oder auch am Treppchenriemen, der Riemscheiben in Umdrehung erhält, arbeiten lassen, vergleiche Bd. I, S. 495.

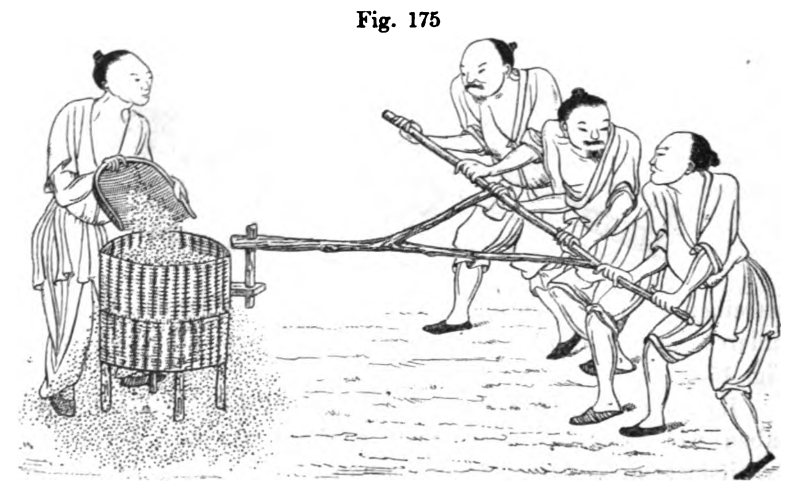
Fig. 174



Der Betrieb einer Kurbel mittelst des „Tretschemels“ liegt schon nahe an, oder gar auf der Grenze, wo die Maschine ins Geräth übergeht. Ein Mann, der einen Schleifstein mittelst Tretschemels umtreibt (vergl. Bd. I, S. 489) wirkt mit seinem Fuss auf die Schwinge *c* einer Bogenschubkurbel $(C''_4)\frac{d}{c}$, bildet aber zu dem Ende aus Schenkeln und Standbein mit eben derselben

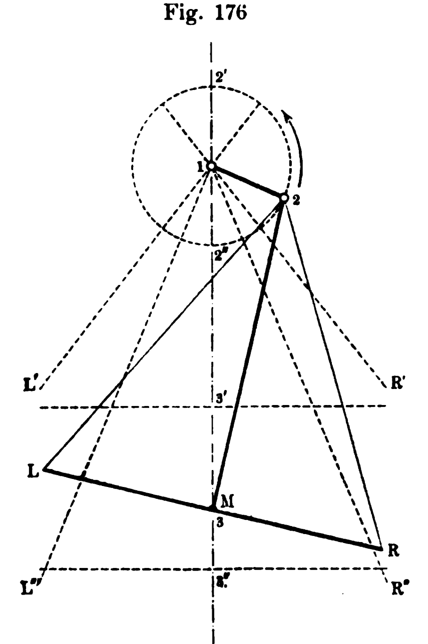
Schwinge c ein zweites Kurbelgetriebe derselben Gattung, worin sein Oberschenkel die Kurbel bildet, deren Bewegungen aber

Fig. 175



durch das erste Kurbelgetriebe auf Schwingungen beschränkt sind; ausserdem darf er bloss beim Abwärtsbewegen mit dem Fuss drücken. Es werden also ganz erhebliche Anforderungen an seine Willensäusserung gestellt.

Fig. 176



Ueber die Grenze zurück in das Gebiet des Geräthes geht zweifellos die ostasiatische Reisschälmühle, die in Fig. 175 *) dargestellt ist. Sie führt uns vor Augen, wie drei Chinamänner den Läufer einer kleinen Mühle antreiben, indem sie eine an ihm befestigte

---

*) Aus dem „Wörterbuch“ des Kaisers Kanghi vom Jahre 1796, Abschnitt Reiskultur, das in französischer und englischer Uebersetzung mit Photolithographien nach den Holzschnitten der Urschrift in Schanghai erschienen ist; von mir erworben 1880.

Kurbel mittelst eines rechenförmigen Holzkreuzes oder „Knechtes“ in Drehung versetzen. Die Einrichtung ist geschickt erdacht. Würde, siehe die Hülfsfigur 176, der mittlere Mann M allein durch Schieben von 3 bis 3′ und Ziehen von 3′ bis 3″ usw. die

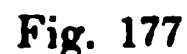


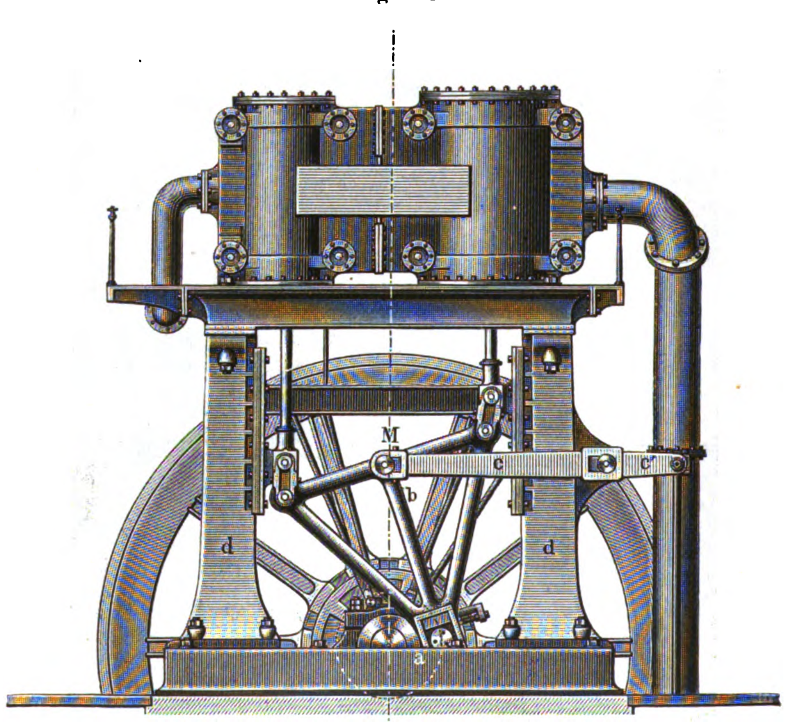
Fig. 177



Kurbel umzutreiben versuchen, so würde er sie bei 3′ und 3″ wegen der Todtlage des Getriebes nicht weiter bringen, da auch die Masse des Steines sehr klein ist, also als Schwungrad nicht wirken kann. Aber der Mann R zur Rechten befindet sich nicht

zugleich mit M in einer Todtlage des Treibknechtes, sondern erst in R' und R''. Der Mann L zur Linken befindet sich in der gezeichneten Stellung noch weiter ausserhalb der Todtlagen seines Angriffspunktes als R, und so kommt es, dass immer zwei der Treiber in wirksamen Lagen sind, wenn der dritte es nicht ist. Daher kann denn das Umtreiben ohne Schwierigkeit stetig vor sich gehen. In Japan ist die Vorrichtung mit einigen Abänderungen auch im Gebrauch; eine der von mir gesammelten

Fig. 178

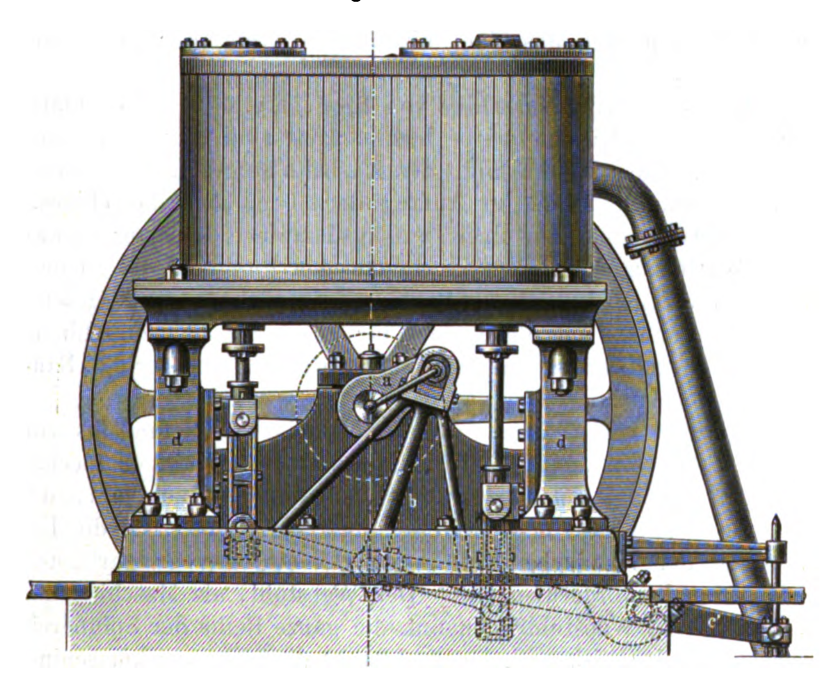


Abbildungen dazu gibt Fig. 177 (a. v. S.) wieder. Hier sieht man deutlicher die Zapfenlagerung 2 sowie auch, dass die Treibkrücke in Schnüren hängt. - In Japan arbeiten zwei Personen an dem Querstab des Treibers, die dritte greift nahe der Kurbel an demselben an. Das Ganze erscheint, wie auch auf andern Bildern, so zu sagen als Familienangelegenheit, indem Vater, Mutter und Tochter die häusliche Arbeit in der Scheune betreiben.

Auffallend ist, wie weit, gemäss unsrer Hülfsfigur 176, die

Vorrichtung in kinematischer Richtung geht; erscheinen doch in ihr drei Schubkurbelgetriebe vereinigt, und werden doch sechs Todpunkte unschädlich gemacht. Dennoch ist die Vorrichtung ein Geräth und keine Maschine. Denn die geradlinige Schubrichtung 3′ 3″ Fig. 176 wird einzig vermöge des Willens des Mannes *M* oder aller drei Arbeitenden innegehalten; ganz dasselbe gilt auch von der Richtung der Linie 3′ 3″ gegen das Untergestell, da sie ringsum gewählt werden kann. Die Männer *R* und *L* müssen auch in dieser Beziehung den Mittelsmann mit

Fig. 179



gleichem (gutem) Willen unterstützen. Es liegt also ein recht zusammengesetzter Kraftschluss vor, aber nicht ein durch Elementenpaarung bedingter, sondern ein solcher, der unausgesetzt dem Willen untergeordnet ist; das Ganze ist somit in seinen Bewegungen weit vom Zwanglauf entfernt.

Es ist nicht schwer, die dargestellte Vorrichtung zwangläufig zu gestalten, sie in die Form eines Mechanismus oder Getriebes zu bringen. Man hat zu dem Ende nur den Punkt *M* des

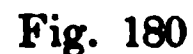
Koppeldreiecks in bestimmter Bahn zu führen, und zwar braucht diese Bahn nicht einmal geradlinig zu sein. Fig. 178 zeigt die Musgrave'sche Verbunddampfmaschine, bei der das Getriebe, das wir wohl das „chinesische Kurbelgetriebe" nennen können, Anwendung gefunden hat; es fehlt indessen hier die Kraftzuleitung zu der Mitte der Krücke. Die Kurbel *a* bildet mit der Koppel *b*, der lenkenden Schwinge *c* und dem Gestell *d* das aus Fig. 123 bekannte Bogenschubkurbelgetriebe; an die beiden Seitenzapfen von *b* sind sodann mit kurzen Koppeln die Kolbenstangen der beiden Dampfcylinder angegliedert. Ein Schwungrad ist noch zugefügt; die Schwinge *c* treibt mit ihrer Rückwärtsverlängerung die Luftpumpe der Maschine, nimmt also Kraft ab, statt solche zuzuführen.

Bei der Verbundmaschine von King, Fig. 179, ist ebenfalls das chinesische Kurbelgetriebe benutzt; nur sind hier die Dampfcylinder auf der andern Seite der Kurbel *a* aufgestellt. Norman Wheeler wandte schon im Anfang der 60er Jahre das chinesische Kurbelgetriebe bei einer Zwillingsdampfmaschine an; es war eine Walzenzugmaschine. Er führte den Punkt *M* des Pleueldreiecks wirklich in gerader Bahn, wie in Fig. 176 vorausgesetzt ist*), empfahl auch die Bauart für Schraubenschiffsmaschinen, wofür sie auch anwendbar sein würde, weil sie eine geringe Bauhöhe beansprucht.

Spinnen und Weben, von der Handarbeit herauf bis zur feinsten Maschine, sind das Lieblingsfeld der bisherigen mechanischen Technologie gewesen und müssen geeignet sein, die Maschinenmerkmale deutlich erkennbar zu machen, da die Ersetzung der Handarbeit in ihrem Gebiete die grossartigsten Industrien hervorgerufen hat. Der Webstuhl, als Maschine der „mechanische Webstuhl" genannt, die ganze Reihe der Spinnereimaschinen, der Wirkstuhl, der Flechtstuhl, die Spitzenwirkmaschine, die Schlichtmaschine und zahlreiche andere sind als vollständige Maschinen anerkannt und mit vollem Recht. Dem gegenüber steht die neuere technologische Schule, vertreten durch Hartig (s. oben S. 211), eigenthümlich da, indem sie das Spinnrad für eine vollständige Maschine erklärt, während doch die Industrie im vorigen Jahrhundert gerade das „Rad" durch die „Maschine"

*) Modell im kinematischen Kabinet der Königl. Technischen Hochschule in Berlin.

abgelöst hat. Während noch Karmarsch in seiner „mechanischen Technologie“ den Unterschied ruhig festhält, will Hartig auf Grund einer von ihm gegebenen Begriffsbestimmung denselben wieder beseitigen. Man wird ihm darin nicht folgen können. Zunächst hätte er wohl, wie Karmarsch noch sorgfältig thut, das alte Spinnrad, das in ganz Ostasien, die Sundainseln inbegriffen, in vollem Gebrauch ist, anführen dürfen. Ein ähnliches Rad war


Fig. 180



auch bei den Römern im Gebrauch und hat sich bei den atlantischen Völkern noch bis heute erhalten, wie ich es denn u. a. in Utah, der Mormonenstadt, in Anwendung sah. Ich gebe deshalb in Fig. 180 ein japanisches Spinnrad, von dem ich für die Sammlung der Technischen Hochschule eine Ausführung beschafft habe, wieder.

Die Spinnerin treibt mit der Rechten das Treibrad um, das

die etwas schief (an andern Stellen auch waagerecht) gelagerte Spindel in rasche Drehung versetzt, und hält mit der Linken die Fasermasse, lässt den sich bildenden Faden sich bis zur Spindelspitze wiederholt aufwickeln und abfallen, wodurch er gewunden wird, und lässt ihn, wenn dies zur Genüge geschehen ist, durch Aenderung der Fadenrichtung auf den Kötzer auflaufen. Im sogenannten Jürgen'schen Spinnrad *) ist sehr geschickt das Aufwickeln durch einen geeigneten Mechanismus stetig und gleichzeitig mit dem Winden oder Spinnen des Fadens in geregelte Verbindung gebracht, und wird die Radumtreibung durch einen Tretschemel mittelst Kurbelgetriebes bewirkt. Das Ganze bleibt trotz der glücklichen Verwendung von Mechanismen ein Geräth. Denn der Willensthätigkeit, und zwar einer solchen, die sehr viel Uebung und Geschick erfordert, liegt die angemessene Ausziehung der Fasern aus dem Rocken ob, die einmal so, einmal so, einmal schlecht, einmal gut geschehen kann, und die Bewegung des Tretschemels hat nach wie vor die Eigenthümlichkeiten und den Willensantheil, wovon wir oben beim Schleifstein zu sprechen hatten. Die ungemeinen Schwierigkeiten des Faserausziehens haben der Ueberführung auf den Maschinenbetrieb geradezu maſslose Schwierigkeiten bereitet, haben dazu genöthigt, den genannten Vorgang in eine Reihe von Vorgängen zu theilen, von der Krempel durch verschiedene Vorspinnmaschinen hindurch

---

*) Es ist nicht mehr aufrecht zu halten, dass der Steinmetz und Bildschnitzer Jürgen in Watenbüttel bei Braunschweig das Spinnrad mit Fortspinnung erfunden habe. Schon die bezügliche Nachricht in Rethemeiers Chronik, die 1722 erschien und als Jahr der Erfindung 1530 angibt, ist, wie Dr. Andree im Braunschweigischen Magazin vom 21. Juni 1896 nachweist, sehr unbestimmt. Andree bringt das Thatsächliche bei, dass in einem werthvollen Besitzstück der Wolfenbüttler Bibliothek, dem Glockendon'schen Neuen Testament vom Jahr 1524, schon ein Spinnrad mit Tretschemel dargestellt ist; eine Hausfrau spinnt am Rad, während die sie umgebenden Mägde mit der alten Spindel spinnen. Rettich geht in seinen Spinnradtypen (Wien 1895) noch weiter, indem er darauf hinweist, dass schon 1500 Leonardo da Vinci eine Spinnvorrichtung mit Flügel und verschiebbar angeordneter Spule, jedes mit besonderem Schnurlauf angetrieben, dargestellt habe. Eine Wiedergabe von Leonardos Zeichnung findet sich in Dr. Grothe's lehrreicher Abhandlung „L. d. V. als Ingenieur und Philosoph" in den Berliner Verhandlungen 1874, S. 177. Das Jahr der Aufzeichnung des betreffenden Codex ist nach Dr. Grothe etwa 1490, d. i. 40 Jahre vor dem Jürgen'schen vermeintlichen Datum. Grothe gibt auch Geschichtliches über die Handschriften Leonardos, die zwar etwas zersplittert, aber nicht verloren und wiedergefunden worden sind, wie Rettich annimmt.

zur eigentlichen Spinnmaschine in deren verschiedenen Bauarten. Weit über ein Jahrhundert hat es gedauert, bis das Thun der geschickten Spinnerin auf die Maschinen vertheilt war, was uns jetzt gestattet, auf einer einzigen Maschine 1500 Spindeln zugleich die Fertigarbeit vollziehen zu sehen. Die Aufwicklungsaufgabe hat dabei zu Mechanismen geführt, die in ihrer Zusammenwirkung zu dem Verwickeltsten gehören, was wir bauen. Dass da ein gewaltiger Unterschied zwischen Maschine und Geräth bestehen muss, ist einleuchtend; dass derselbe aber bei Hartig wegfällt, muss doch zu ernstlichster Prüfung seiner Begriffsbestimmungen Anlass geben (vergl. auch noch S. 248).

Die vorstehenden Beispiele werden hoffentlich genügen, um den Maschinenbegriff sicher stellen zu können. Erwähnt zu werden verdient noch, dass der, von Grübeleien gänzlich freie Sprachgebrauch im Gewerbebetriebe, in Aemtern, in Büchern, in Preisverzeichnissen usw. sich dahin entschieden hat, Maschinen, die durch menschliche Handkraft betrieben werden, „Handmaschinen“ zu nennen. So spricht man ganz verständlich von Handpumpen, Handmühlen, Handwinden, Handbohrmaschinen usw. auch von der Handspritze, wobei man Betrieb durch nur einen Menschen meint, auch vom Handspinnrad, nicht von der Handspinnmaschine, wie Hartig möchte. Man stellt u. a. dabei den Handwebstuhl, wie man richtig und allgemein den mit Tretschemeln, Zampelzügen, Schnellern, Tümmlern usw. vom „Handweber“ betriebenen Webstuhl nennt, den zur Maschine ausgebildeten Stuhl als „Kraftstuhl“, „Kraftwebstuhl“ gegenüber; der erstere ist ein Geräth — „Handwerk“ (*métier*) nennt ihn der Franzose —, der andere eine Maschine. Somit entscheidet der gewerbliche Sprachgebrauch ganz deutlich in unserm oben gefundenen Sinne. Der Handspritze und der „Feuerspritze“, bei der der Sprachgebrauch die treibende Männerkraft, die jedermann vorschwebt, nicht besonders nennt, stellt man die Dampfspritze gegenüber, der Handwinde die Dampfwinde, dem gewöhnlichen, von Zugthieren betriebenen Geräthe Pflug den Dampfpflug, dem vom Pferde gezogenen Wagen den „Motorwagen“ usw. Kurz, der Gebrauch leitet mit Bestimmtheit auf die Trennung hin, welche die kinematische Untersuchung als natürlich und im Sinne des Aufsteigens zur Maschine liegend theoretisch feststellen musste. Es schien aber Pflicht, gegenüber den Ansichten von so geschätzter technologischer Seite, in vollen Beispielen, nicht

aber bloss in kurzen Anführungen die Trennungslinie auch als gewerblich anerkannt zu erweisen.

Fassen wir alles zusammen, so läuft die Unterscheidung der Dinge zu beiden Seiten der Trennungslinie darauf hinaus, dass beim Spinnrad, dem Handwebstuhl, der Garnwinde und Aehnlichem der Mensch mit seinen Fähigkeiten an Einsicht und Absicht es ist, welcher arbeitet und die mechanische Vorrichtung zu Hülfe nimmt, während bei der von Hand getriebenen „Maschine“ diese arbeitet und der Mensch zu Hülfe genommen ist, um sie in Bewegung zu setzen und zu halten. *B* hilft *A* im ersten Falle und *A* hilft *B* im zweiten, einmal Ueberordnung, einmal Unterordnung (wovon unten mehr). Der Mensch tritt mit seiner Muskelkraft im zweiten Falle zu einer Bewegung, für die ihm keine Wahl gelassen ist, ebenso ein, wie die rein mechanische Naturkraft, die dem willenlosen Stoff abgewonnen wird, oder auch: mit seiner mechanischen Naturkraft als solcher. Wo der Mensch mehr ist, wo er geistig mit Willensäusserungen, die den Zweck der Vorrichtung verfolgen, mitwirkt, hat das Gebiet des Geräthes begonnen. Statt „Geräth“ sagen wir vielfach auch mit einem Fremdwort, das wir weiter nicht untersuchen, „Instrument“. Am weitesten ab von der Maschine, obgleich am reichsten mit fein ausgedachten Mechanismen ausgerüstet, ist das Saiteninstrument Klavier. Trotz seiner Fülle von kinematischen Vorrichtungen ist es keine Maschine, sondern nur ein ausgebildetes Hülfsmittel für geistiges Thun, ein höheres Geräth. Ebenso reich oder noch weit reicher, je nach der Ausbildung, ist die Kirchenorgel, deren Mechanismen zu Tausenden zählen, ohne dass sie eine Maschine ist. Man kann indessen beide, Orgel und Klavier, herabstufen zur Maschine, wie in den „Musikwerken“, „Orchestrien“ und der guten alten Drehorgel geschieht. Schärfer tritt dann aber auch kaum der Unterschied zwischen der beherrschenden und der bedienenden Bewegung hervor.

§. 38

Begriffsbestimmung der Maschine

Das Vorausgehende hat gezeigt, dass in den Maschinen Bewegung unter Beschränkung stattfindet, derjenigen nämlich, dass die bewegten Punkte bestimmte Bahnen, Geraden, Kreise,

Kurven durchlaufen und, wenn sie an deren Anfangspunkte gelangt sind, immer aufs neue durchlaufen, so lange man sie in der Bewegung erhält. Das ist eines der Kennzeichen der Maschine. Es rührt davon her, dass man die Maschine aus Mechanismen zusammensetzt, von denen wir oben festgestellt hatten, dass sie Zwanglauf verwirklichten. Von der Schnelle, mit der die bewegten Punkte die Bahnen durchlaufen, fanden wir bei manchen Maschinen, namentlich den „Kraftmaschinen“, dass sie durch „Regler“ in Grenzen gewiesen war. Wie aber auch die Schnelle gesteigert oder gemässigt sein mochte, so blieb doch das Verhältniss der Schnellen verschiedener Punkte in einer voraus bekannten Abhängigkeit. Die zahlenmäfsige Grösse der Schnelle gieng nicht ein in die Grundbedingungen der Gangbarkeit der Maschine. Unwandelbar brauchte das Verhältniss der Schnellen aller Punkte nicht zu sein, wie wir bei den Reglern, Fig. 127, 128, 138, gesehen haben, aber auch in zahlreichen Arbeitsmaschinen sehen, nur war es im Voraus, nach den Gesetzen der Mechanik, bestimmbar. Hieraus geht hervor, dass die Schnelle der Bewegungen, als weite Grenzen durchlaufend, nicht in die Begriffsbestimmung der Maschine eintritt.

Ein Zweites tritt aber nothwendig ein, das ist die Herbeiführung und Erhaltung der Bewegung. Dazu bedarf es der Kraftwirkungen und eines Kraftvermögens, aus dem Arbeitsstärke entnommen werden kann. Solches Kraftvermögen steckt bei der Dampfmaschine im Dampfkessel, beim Wasserrad in dem dasselbe speisenden Flusslauf oder in einem Weiher, Hochbehälter, beim Gasmotor im Gasbehälter oder sogenannten Gasometer, bei Betrieb durch Muskelkraft in dem Lebensvorgang des thierischen Körpers. Wie diese Vermögenszustände erhalten werden, geht aus der Maschine selbst nicht hervor; was aber den Betrieb der Maschine möglich macht, ist das Zuströmen von Kraft. Diese Kraft ist vermöge der mechanischen Zusammensetzung der Maschine nothwendig eine „mechanische“ Naturkraft, nicht eine chemische, auch nicht das, was wir eine geistige Kraft nennen. Hiernach muss die treibende mechanische Naturkraft in der Begriffsbestimmung vorkommen, unzweifelhaft zugleich, dass die Theile der Maschine der Kraft widerstehen können. Unter mechanischer Naturkraft ist gemäss den vorhin gemachten Bemerkungen die blosse Muskelkraft, die zum Betriebe von sonst vollständigen Maschinen dient, mit einbegriffen.

Das Dritte ist die Wirkung der Maschine auf die ihrer Bearbeitung unterworfenen Körper oder Stoffe. Bei jeder Maschine handelt es sich hier um eine bestimmte, voraus bekannte, oder beim Entwurf der Maschine in Aussicht genommene Wirkung. Heben, Schieben, Senken, Schleppen, Drechseln, Hobeln, Schneiden, Fräsen, Weben, Flechten, Spinnen, Sticken, Prägen, Biegen, Zermalmen, Zerstückeln usw., immer sind bestimmte mechanische Wirkungen Aufgabe der Maschine.

Noch ein Viertes zeigt sich als wesentliche Eigenschaft derselben, es ist, dass sie nicht ununterbrochen wie ein Lebewesen, in Thätigkeit ist, sondern nur, wenn man die Veranlassung dazu gibt oder weiter bestehen lässt, also z. B. Betriebswasser, Dampf, Gas, oder in andern Fällen Drehbewegung etwa mittelst Riemenbetriebs oder menschlicher Muskelkraft zulässt. Thut man das nicht, so bleibt die Maschine still stehen; unterbricht man zeitweilig die Zulassung, so kommt sie zeitweilig zum Stillstand, ohne dass die Maschine eine Aenderung erführe. Diese Eigenthümlichkeit ist ganz wesentlich, muss also in der Begriffsbestimmung ihren Ausdruck finden.

Ich habe im ersten Bande diese vier Wesenheiten der Maschine in folgender Form zusammenzufassen gesucht: „Eine „Maschine ist eine Verbindung widerstandsfähiger Körper, welche „so eingerichtet ist, dass mittelst ihrer mechanische Naturkräfte „genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen zu „wirken“.

Von einer Anzahl früher bekannt gewordener Begriffsbestimmungen hatte ich gezeigt (s. Bd. I, S. 592), dass sie nicht genügten. Ein Vorwurf erwuchs den Vorgängern daraus nicht, da man früher überhaupt nicht so ernstlich an die Aufgabe herangetreten war. Meine Fassung fand indessen auch Widerspruch, manchen rasch und kurz gefällten, aber auch einen wirklich eingehenden seitens eines Hochschullehrers. Da seine Abhandlung alle Theile meiner Fassung prüfend untersucht, gebe ich hier meine darauf abgegebene Entgegnung vollständig wieder, um meinerseits nichts zu unterlassen, was zur Klärung beitragen kann. Die Einwürfe, die der Kritiker gemacht hatte, sind in meinen Beantwortungen zu erkennen; den Wortlaut der letzteren lasse ich nun hier folgen.

Im vierten und fünften Hefte des „Civilingenieurs“ 1877 bespricht Herr Beck die von mir aufgestellte Definition der Maschine und schlägt, nachdem

er sie einer dankenswerthen objektiven Kritik unterzogen, eine Erweiterung oder Abänderung derselben vor, nachdem er nachgewiesen zu haben glaubt, dass der von mir gewählte Wortlaut theils Mängel der Begriffserklärung, theils Ueberschüsse besitze. Es sei mir gestattet, einige Worte der Entgegnung hier vorzutragen.

Herr Beck geht zunächst auf die griechischen Quellen des Wortes Maschine zurück und will demselben den Begriff des „klug ersonnenen und kunstreich gefertigten Hülfsmittels" als untrennbar innewohnend beimessen. Demzufolge möchte er solchen in der Natur vorkommenden Körperverbindungen, welche sehr ähnlich oder ganz so wie Maschinen wirken, den letzteren Namen abgesprochen wissen. Diese Ausschliessung soll nach ihm in der Definition ihren Ausdruck finden. Zu dem Ende schlägt Herr Beck vor, zu sagen: „Die Maschine ist eine künstliche Verbindung usw."

Hiergegen ist Mehreres einzuwenden. Allerdings ist zuzugeben, dass den Wörtern *μηχανή*, *μῆχος*, *μῆχας* usw. ursprünglich allein der Gedanke der künstlichen, durch Menschenhand geschehenen Herstellung zu Grunde gelegen habe. Allein diese Wörter haben mit der ganzen Masse der übrigen im Laufe der Zeit ihre Bedeutung geändert. Wörter erweitern und verschieben ja ihren Begriffskreis; aus der Engigkeit der anfänglichen Bestimmung kann sich eine grössere, auch aus der anfänglich allgemeinen eine verengerte, einseitige entwickeln; ja wir kennen Beispiele, wo bei fortgesetztem Wandlungsprozess der Begriff eines Wortes in das Gegentheil des anfänglichen übergegangen ist (wie beim Worte „schlecht"). Der sich gestaltende, wachsende Begriff nimmt das Wort mit sich, ohne sich von ihm in seiner Entwicklung hindern zu lassen. So hat denn auch das Wort *μηχανή*, auf dessen älteren Sinn sich Herr Beck beruft, den Anfangsbegriff vom künstlich Hergestellten allmählich und schon früh verlassen. Die „Mechanik" nahm im Laufe der Zeiten eine wachsende Zahl von Erscheinungen der Körperwelt in sich auf; sie schwang sich in den letzten Jahrhunderten hinauf zum Himmelsgewölbe und nahm in unsrer Zeit festen Besitz vom ganzen Universum, vom Weltsystem herab bis zum mikroskopischen Körperchen, das in der Pflanzenzelle kreist. Niemand denkt daran, dem Worte wegen seiner geringen Herkunft das Recht auf seinen allumfassenden Begriffsbesitz zu bestreiten. Wenn demnach das Ausgangswort *μηχανή* angerufen wird, so führte dasselbe, genau im Gegensatz zu Herrn Becks Meinung, zu einer Erweiterung des Begriffes anstatt zu einer Einschränkung.

Neben dem Worte Mechanik hat sich das Wort Maschine ebenfalls allmählich umgebildet, obwohl lange nicht in dem Maſse, wie das Mutterwort. Ja dasselbe hat theilweise eine Beschränkung oder einseitige Verschiebung erfahren, indem es sich mit Vorzug an dasjenige künstliche Hülfsmittel anschloss, dessen Theile gegeneinander beweglich sind. Aus diesem Grunde verlor auch das Wort „Rüstzeug" seine Brauchbarkeit für den vorliegenden Fall und verschwand wieder. Herr Beck will aus diesem letzteren Worte ebenfalls die Nothwendigkeit einer Beschränkung des Begriffes ableiten, aber, wie man sieht, mit Unrecht, denn das Wort verlor sich, weil der Begriff die Beschränkung nicht vertrug. Ich habe übrigens S. 594 meiner Kinematik nicht gesagt, dass die deutsche Bezeichnung R. ein „Holzgerüste" bedeute, sondern dass Vitruv unter *coniunctio ex materia* ein Holzgerüst gemeint, und dass aus der Uebersetzung dieses

Wortes, unter halbem Missverständniss, sich das deutsche „Rüstzeug“ gebildet habe. Aus dem Text, S. 594 geht diese meine Meinung unzweideutig hervor *).

Das Wort Maschine konnte eine Bedeutungsentwicklung gleich der des Wortes Mechanik nie erfahren, weil die Nothwendigkeit, dass die Theile der Maschine einander berühren, den Spielraum des Begriffes begrenzt. Dass aber deshalb diejenigen seltenen Fälle, in welchen die Natur zwangläufige Verbindungen hervorbringt, ausgeschlossen sein müssten, ist meines Erachtens theoretisch nicht erweisbar. Jedenfalls hat Herr Beck den Beweis nicht geführt, sondern bei dem Versuche hierzu die Beschränktheit des Wortbegriffs, die er beweisen will, nur wieder postulirt. Haben solche Körperverbindungen die wesentlichen Eigenschaften der künstlich hergestellten Maschinen, so werden sie Maschinen genannt werden müssen. Wir sind dann zu ihrer Ausschliessung nicht einmal berechtigt, geschweige verpflichtet. Dass durch die Einbeziehung eine Schädigung des Ganzen entstehen könne, muss ich bestreiten. Einestheils ist die Zahl der Fälle wirklich ausserordentlich gering — es handelt sich beinahe nur um Seltenheiten —; anderntheils entsteht für den Naturforscher ein nicht geringer Vortheil, wenn der besondere, seltene Fall sich in ein grosses geordnetes Gebiet einstellen, sich nach den Gesetzen beurtheilen lässt, die in diesem Gebiet Geltung haben. Ich habe wiederholt gefunden, dass vom Naturforscher gerade der hier beregte Umstand willkommen geheissen worden ist. Im Gegensatz hierzu begegnet man in den Kreisen der Maschinentechniker gelegentlich einer wahrhaft seltsamen Besorgniss gegenüber den Versuchen, in der Maschinentheorie einen freieren, mehr umfassenden Standpunkt zu erklimmen.

Abgesehen von dieser geistigen Seite der Sache ist es Erforderniss, jeder Definition, das Wesentliche möglichst rein darzustellen. Als wesentlich kann aber die künstliche, d. i. durch Menschenhand bewirkte Herstellung nicht angesehen werden, und darum ist es besser, die ausdrückliche Anführung derselben zu unterlassen, möge auch immerhin die Zahl der künstlich hergestellten Maschinen die durchaus überwältigende Mehrheit bilden **).

Bemerkenswerth bleibt übrigens das fast immer absichtsvolle Zusammenbringen der Körper zu dem Maschinengebilde, und deshalb verdient es auch, in der Definition berücksichtigt zu werden. Soweit trete ich Herrn Beck bei. In dem Maſse aber, als die Berücksichtigung erwünscht ist, glaube ich sie durch das Wort „eingerichtet“ geübt zu haben. „Eingerichtet“ kann sowohl die künstliche Herstellung bedeuten, als die

*) Nirgends früher als bei Zeising (1607) habe ich das Wort vorgefunden; bei Agricola (1561) steht es noch nicht, sondern dort heisst Maschine (im Index des bekanntlich im Uebrigen lateinisch geschriebenen Buches) noch Zeug, Gezeug, Kunst. Dass Zeising als Autorität galt, geht aus Böcklers Theatrum mach. novum (1661) hervor, wo Zeisings Buch als wichtiges Quellenwerk angeführt wird.

**) Es sei mir gestattet, hier einzuschieben, dass in meinen zahlreichen Versuchen, eine Begriffsbestimmung der Maschine aufzustellen, die künstliche Herstellung ebenfalls vorkam. Wiederholte Prüfung und die Anlegung der obigen Beweisgründe bestimmten mich aber, dieselbe als nicht hingehörig wieder zu beseitigen.

schaffende, bauende Thätigkeit der Natur. Stände „beschaffen" da statt „eingerichtet", so würde damit von der Herstellung, dem Zusammenbringen, Gestalten der Theile abgesehen und dadurch eine hervorragende Eigenthümlichkeit der Maschine unausgedrückt geblieben sein. „Eingerichtet" berücksichtigt auch den Gedankengang, welcher in einigen älteren Definitionen zu den Ausdrücken „Vorrichtung", „Apparat" usw. Veranlassung wurde. Ich habe den dadurch erstrebten Hinweis nicht unterdrückt, wie Herr Beck annimmt, sondern versucht, dem Gedanken eine solche Form zu geben, welche, wie ich glaube, das eigentlich Beabsichtigte wiedergibt.

Ich komme zum zweiten Theil der Abänderungsvorschläge. Herr Beck tadelt, dass meine Definition nicht ausdrücke, „dass eine Maschine den Zweck habe, eine bestimmte mechanisch-technische Arbeit zu verrichten", vielmehr als deren Zweck „nur die Erzeugung einer bestimmten Bewegung" angebe. Auch diesen gewichtigen Einwurf kann ich seinem ganzen Umfang nach widerlegen.

Zunächst muss ich hervorheben, dass es für das Wesen der Körperverbindung, welche wir Maschine nennen, gleichgültig ist, welche Bestimmung dieselbe hat. Wenn ich weiss, zu was für Leistungen eine Maschine vermöge ihrer Einrichtung befähigt ist, bin ich über ihre allgemeinen Eigenschaften unterrichtet. Und diese mir klar zu machen, ist die Aufgabe der Definition. Eine Maschine kann bei einer und derselben Einrichtung aber verschiedene Bestimmungen haben. Eine Kurbeldampfmaschine gewöhnlicher Art z. B., deren Steuerung keine Voreilung und keine Deckung besitzt, kann auch als Wassersäulenmaschine dienen, auch von irgend einer anderen tropfbaren oder gasförmigen Flüssigkeit getrieben werden; sie kann, wenn die Triebkraft in die Kurbelwelle eingeleitet wird, als Pumpe zur Beförderung irgend einer Flüssigkeit dienen (und wird auch so gebraucht); sie kann als Luftverdünnungspumpe benutzt werden; sie treibt auf der Lokomotive beim Gegendampfgeben Luft in den Dampfkessel. Solche mehrfache Verwendungen einer und derselben Maschine lassen sich noch durch zahlreiche andere Beispiele belegen. In der Definition von dem Zwecke der Verrichtung einer bestimmten mechanisch-technischen Arbeit zu sprechen, ist somit ganz unstatthaft. Das Beiwort „bestimmt" dürfte also unmöglich in dem Beckschen Vorschlage stehen bleiben. Streichen wir es, so bleibt übrig: „. . . . Verbindung widerstandsfähiger Körper, welche zur Verrichtung einer mechanisch-technischen Arbeit dient und zu dem Zwecke so eingerichtet ist, dass . . . ." Gegen das Wort „dient" wäre Einspruch zu erheben; denn eine Maschine bleibt was sie ist, auch wenn sie still steht, jahrelang nicht arbeitet, nie gearbeitet, nie gedient hat. Setzen wir für „dient" daher „befähigt ist", so würde der Satz wohl anzunehmen sein, und ich habe mich in meiner Kinematik S. 38 auch ganz ähnlich ausgesprochen, wie Herr Beck mit Recht anführt. Er hätte auch ferner anführen können, was auf derselben Seite noch weiter unten steht, wo es nämlich heisst: „Unser Verfahren ist also ein zweifaches, einmal negatives: Ausschliessung der Möglichkeit anderer als der gewünschten Bewegung, und dann positives: Einleitung von Bewegung. Das Resultat ist, dass die verwendete Naturkraft die gewünschte mechanische Arbeit vollzieht."

Ich habe mich also dicht vor der Definition ganz so ausgesprochen, wie Herr Beck will, dass es nämlich in dem Wesen der Maschine liege, dass

sie zur Verrichtung einer mechanischen Arbeit befähigt sei. Mit nichten habe ich aber, wie Herr Beck behauptet, dies später unbegreiflicher Weise ausser Acht gelassen, sondern es wirklich in die Definition hineingebracht. Herr Beck zitirt nämlich in Spalte 5 seiner Bemerkungen irrig, wenn er sagt, meine Definition bezeichne als Zweck der Maschine nur die „Erzeugung" einer bestimmten Bewegung. Dies habe ich nicht gesagt. In meiner Definition steht vielmehr, wie Herr Beck an anderer Stelle auch richtig buchstäblich zitirt, „unter bestimmten Bewegungen zu wirken".

Das Wort wirken bedeutet arbeiten, insbesondere eine mechanische Arbeit vollziehen. Ich lege nicht etwa hier diese Bedeutung in das Wort hinein, folge und folgte vielmehr hier Redtenbacher, welcher ausdrücklich „wirken" in diesem Sinne benutzt und definirt. Statt „mechanisch arbeiten" sagt R. „wirken", statt „mechanische Arbeit" „Wirkung", „Wirkungsgrösse", und spricht sich über die Wahl dieses schönen und kurzen Ausdrucks des weitern aus (s. Prinzipien der Mechanik, S. 52 ff.); viele Schriftsteller sind ihm darin gefolgt, so dass die Verwendung des Wortes in der angeführten Bedeutung auch keineswegs eine Seltenheit ist. Umschreibt man das Wort „wirken" in meiner Definition, wie ja in meinem Buche thatsächlich durch die unmittelbar vorher stehenden Erläuterungen geschehen ist, so heisst deren Schluss: „dass durch sie mechanische Naturkräfte genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen mechanische Arbeiten zu verrichten", was also mit Herrn Becks Forderung im allgemeinen übereinstimmt. Dass ich das Wort „wirken" seiner Umschreibung wohl mit Recht vorgezogen habe, zeigt ein Blick auf den vorstehenden Satz, in welchem das Wort „mechanisch" nun zweimal vorkommt.

Es bleibt aber noch ein kleiner Differenzpunkt übrig. Herr Beck verlangt, dass „mechanisch-technische" Arbeit gesagt werde, während ich, indem ich „wirken" setzte, nur allgemein „mechanische" Arbeit ausgedrückt habe. Abermals ist der Schein auf den ersten Blick wider mich, indem es wie zweifellos aussieht, dass überall mit der Maschine technisch nützliche Arbeit erstrebt werde. Hier ragt wieder der Zweck in die Definition herein, während doch die Angabe der Befähigung völlig ausreichen würde. Der Zweck könnte also zum mindesten unbeschadet der Genauigkeit unerwähnt gelassen werden. Sodann aber ist auch wirklich der Zweck der Maschine nicht ausnahmslos der, eine mechanisch-technische Arbeit zu verrichten. Das Löschen des Feuers durch die Maschine Feuerspritze ist keine mechanisch-technische Arbeit, ebensowenig das Spiel der Wasser eines Springbrunnens; sehr zweifelhaft ist das Mechanisch-technische des Zweckes bei manchen Maschinen für chemische Anlagen. In allen diesen Fällen aber verrichtet die Maschine „mechanische Arbeit". Dass die „mechanische Arbeit" der Maschine rein im Gebiete der mechanischen Technik, d. i. der mechanischen Kunst liege, gilt nur von der grössten Zahl der Fälle, ist aber nicht Grundsatz. Das wahrhaft Allgemeine ist indessen durchweg, auch bei Einschluss der Naturmaschinen, die Verrichtung mechanischer Arbeit. Nur das wirklich Allgemeine darf in der Definition Platz finden und deshalb darf diese nur von „mechanischer Arbeit", nicht von mechanisch-technischer Arbeit sprechen.

Herr Beck besorgt, dass durch meine Defnition der Unterschied zwischen Maschine und Mechanismus gänzlich verwischt werde und dass die Vermengung beider Begriffe zu ungerechtfertigten Schlüssen führen

werde. Dieser Einwurf ist durch das Vorstehende eigentlich bereits erledigt, denn er führt sich auf die irrige Lesung meiner Definition zurück. Nur noch einige Worte zur Aufklärung. Gerade die Aufgabe des Mechanismus, der Vermittler bestimmter Bewegungen zu sein, sondert ihn von der Maschine. In der Maschine kommt der Mechanismus vor; er dient dazu, eine bestimmte Bewegung an irgend einem Punkte zu erzwingen, er ist aber keineswegs, der Definition nach, selbst die Maschine. Dass das Riesenteleskop, wiederum der Definition nach, als Maschine anzusehen ist, ist richtig; eine Schädlichkeit vermag aber ich nicht in diesem Umstande zu erblicken. (Ich bemerke hierbei, dass ich nicht etwa gefordert habe, man solle künftig das Teleskop eine Maschine nennen, sondern dass ich hervorgehoben habe, der Name „Instrument" verdiene für derartige Vorrichtungen den Vorzug.) Man gehe nur einen Schritt weiter und wird sich überzeugen, dass es sogar nöthig ist, den allgemeinen Begriff bei der Hand zu haben, wenn man auch nicht den Namen gebraucht. Auf der Berliner Sternwarte wird zum Betrieb des Thurmdaches, dessen Spalt bekanntlich bei Sternbeobachtungen gedreht werden muss, eine Gaskraftmaschine benutzt. Die ganze Drehvorrichtung ist deshalb zweifellos eine Maschine, und doch soll sie, weil sie zu Himmelsbeobachtungen dient und mit dem Teleskop gleichsam ein Ganzes bildet, keine solche sein? Wo ist, nebenbei gesagt, auch hier wiederum die mechanisch-technische Arbeit als Zweck, der doch allein die Freilegung des Gesichtsfeldes ist? Die Sternwarte zu Richmond besitzt noch vollkommenere machinale Einrichtungen, welche allein vom Beobachter gehandhabt werden und noch inniger mit dem Teleskop zu einem Ganzen verschmelzen. Warum sollte die dort benutzte Wassersäulenmaschine nebst Anhang keine Maschine sein? Sie ist vom Maschinenbauer entworfen und angefertigt, ebenso wie die Berliner Drehvorrichtung; es ist nicht zu erweisen, wo der wirkliche Unterschied zwischen ihr und etwa der Treibmaschine einer grossen Eisenbahn-Drehscheibe steckt. Alles dies beweist, dass man bei Anlegung der Definition keine andere Wahl hat, als auf das allen Fällen wahrhaft Gemeinsame zurückzugehen, was sich demnach als das Wesentliche des Begriffes herausstellt. Die Gefahr, beim Definiren Unwichtiges mit einzuschliessen, ist sehr viel geringfügiger als diejenige, Wesentliches auszuschliessen.

Dies zeigt sich deutlich bei Herrn Beck, indem derselbe sich gezwungen sieht, die Uhren und Waagen aus der Reihe der Maschinen auszuscheiden. Die Maschinen zum Messen und Zählen werden herkömmlich als „Maschinen" angesehen. Sie als blosse Mechanismen zu bezeichnen, heisst sowohl gegen den Gebrauch und die hervorragendsten Lehrbücher, als gegen die Analogie verstossen und zudem die klare Stellung, welche der Mechanismus, wie wir oben sahen, einnimmt, verkennen. Die Waage ist kein Mechanismus, sondern sie besitzt einen oder mehrere und ist, vom allgemeinen Standpunkt aus betrachtet, eine Maschine, oder wenn man sie zugleich in eine Nebenklasse schieben will, ein Apparat, ein Instrument. Die Thomas'sche Rechenmaschine ist eine Maschine, nicht bloss dem Namen, sondern auch dem Wesen nach; sie enthält mehrere „zusammengesetzte Mechanismen", oder hat, wie man sich ja auch ausdrückt, einen verwickelten Mechanismus, ist aber nicht selbst ein Mechanismus. Der Zirkel dagegen und die Reissfeder, die Herr Beck anführt, sind Geräthe und keine Maschinen, fallen aber auch nicht unter die Definition der

Maschine. Damit soll übrigens nicht behauptet werden, dass nicht auch ein Zeichenapparat bis zu der Höhe einer Maschine entwickelt werden könne; Beispiele liessen sich ja anführen.

Hiermit glaube ich die Vorschläge des Herrn Beck als unannehmbar erwiesen und zugleich die Zweifel, welche derselbe gegen die Brauchbarkeit meiner Definition aufgeworfen, gehoben zu haben. Ein letzter Verbesserungsvorschlag scheint noch von ihm zwischen den Zeilen gemacht werden zu sollen, indem er „Kräfte" statt „Naturkräfte", wie ich gesagt, gesetzt hat. Auch dieser allerletzte Punkt verdient noch Erwähnung. Ich gebe zu, dass der Ausdruck „mechanische Naturkräfte" für einen Pleonasmus gehalten werden kann, will aber bemerken, dass ich denselben bewusstermaſsen angebracht habe. Ich gedachte durch die gewählte Form deutlich zu machen, dass die Maschine als Vermittlerin zwischen Natur und Kunst (im weiteren Sinne), d. i. zwischen den ungebundenen und den geregelten Kraftäusserungen steht. Dieser Gedanke hätte sich bei blosser Setzung des Wortes „Kräfte" auch erschliessen lassen, aber erst mittelbar auf dem Wege einer logischen Folgerung, welche bei der angenommenen, im Grunde doch nicht störend weitläufigen Form entbehrlich wurde.

Habe ich im Vorstehenden eigentlich nur zu zeigen gehabt, dass dasjenige, was meiner Definition angeblich fehlte, wirklich darin steht, dass dieselbe also nicht genau genug gelesen worden, so waren doch die gemachten Ausstellungen solche, deren Beantwortung sich empfahl, weil dadurch eine Klärung der Ansichten erreicht und die anscheinend nicht ausreichend gewesene Begründung meines Vorschlages hat vervollständigt werden können.

Das Vorstehende kann ich heute nur bestätigen, mit zwei Ausnahmen. Die erste betrifft die Waage, von der ich gesagt, sie sei, vom allgemeinen Standpunkt aus betrachtet, eine Maschine. Sie ist das, wie wir oben schon gesehen haben, nicht in ihren gewöhnlichen Ausführungen, weil in diesen der Benutzer eine eingreifende, auf den Zweck gerichtete Willensthätigkeit an ihr ausübt. Andrerseits kann sie zu einer vollständigen Maschine wirklich entwickelt werden, wie in Getreide-Wägemaschinen (durch Riedinger u. A.) geschehen ist.

Die zweite Ausnahme betrifft die natürlichen Maschinen. Sie sind, wenn man den Thierkörper darauf hin untersucht, wovon unten zu handeln sein wird, keine Seltenheiten, sondern sind in grosser Zahl vorhanden.

Bezüglich eines andern Punktes habe ich im Verkehr mit gelehrten Freunden auch eine Verschärfung als empfehlenswerth erkannt. Die Schwierigkeiten nämlich, die das inhaltschwere Wort „wirken" am Schluss des Satzes mit sich brachten, erscheinen mir, verschiedenen Einwendungen, einschliesslich derjenigen des Herrn Beck gegenüber, doch zu gross, um nicht eine

Abänderung erwünscht zu finden. Statt „wirken“ kann man, um noch verständlicher und um möglichst deutlich, wenn auch etwas wortreicher zu sein, sagen, dass eine bestimmte Wirkung, wie oben aufgeführt, ausgeübt werde. Mit dieser Abänderung gestaltet sich nun die Begriffsbestimmung wie folgt:

XIV. Eine Maschine ist eine Verbindung widerstandsfähiger Körper, welche so eingerichtet ist, dass mittelst ihrer mechanische Naturkräfte genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen bestimmte Wirkungen auszuüben.

Wie die bestimmten Bewegungen herbeigeführt werden, haben wir oben gesehen, es geschieht durch die Bildung von Elementenpaaren aus den drei Arten widerstandsfähiger Körper, Vereinigung der Paare in kinematischen Ketten, Schliessung dieser Ketten bis zur Zwangläufigkeit, unter Umständen bis zur Ungangbarkeit, Bildung von Mechanismen aus diesen zwangläufigen Ketten und Verwendung der Mechanismen in der Maschine. Von der Nöthigung der Naturkräfte zu ihrer Wirkung in der Maschine haben wir gesehen, dass sie dadurch geschieht, dass Gebilde, die Kraftträger sind, in die kinematische Gliederung eingefügt werden. Die bestimmten Wirkungen auf Ortsänderung und Formänderung haben wir an einer grossen Reihe von Beispielen betrachtet, allerdings ohne die Fragen zu erschöpfen. Es wird daher nunmehr nöthig sein, diesen wichtigen Theil der Beziehungen der Kinematik zur Mechanik allgemein ins Auge zu fassen.

Einen Blick müssen wir indessen vorher noch werfen auf Hartigs oben erwähntes Werk „Studien usw.“, weil darin gegen Mehreres aus dem ersten Bande dieses Werkes, betreffend den Maschinenbegriff, angegangen ist, namentlich aber, weil darin bestimmte Sätze über den Maschinengriff aufgestellt sind. Hartig ist zu ihnen auf technologischem Wege, auf dem er sich bekanntlich grosse Verdienste erworben hat, gelangt. Die Sätze, welche kurz hinter einander folgen (S. 20 bis 22) lauten:

(1) „Maschine ist ein Mechanismus im Arbeitsgange“,
(2) „Getriebe ist ein Mechanismus im Leerlaufe“,
(3) „Maschine ist ein Getriebe im Arbeitsgange“,
(4) „Jede leerlaufende Maschine ist Triebzeug und zugleich

Getriebe (nicht Werkzeug), versetzen wir sie in Stillstand, so ist sie nur noch Mechanismus".

(5) „Jede stillstehende Maschine ist nur noch Mechanismus (nicht (!) Getriebe, nicht Triebzeug, nicht Werkzeug)".

Meines Erachtens wird durch diese Leitsätze die Frage nicht geklärt, ihre Erörterung nicht gefördert. Die Begriffsbestimmung im ersten Satze hat den grossen Mangel, nicht in sich abgeschlossen zu sein, sondern sich auf eine frühere, weit vorausgehende zu berufen. Hier würde uns das Zurückgreifen weit aus unsrem Wege führen. Sonderbar ist, was Hartig mit dem Wort Getriebe macht. Ich hatte dieses Wort in meinen ersten kinematischen Veröffentlichungen (1864) aus dem allgemeinen Sprachschatz herausgehoben, um es wissenschaftlich in besonderem Sinne, vor allem als deutsches Wort für das gebräuchliche Fremdwort Mechanismus und neben demselben zu verwenden. Es bedeutete vorher ein „Betreiben", „zu was antreiben", „in Bewegung halten" *), also ein Thun, geistig oder körperlich, einen Vorgang, ein in zeitlichen Folgen Geschehendes, abgesehen von seinem ganz beschränkten handwerklichen Gebrauch als Name eines kleinen Zahnrades; auch technisch wird Getriebe, wie z. B. im Bergbau, für Vorbringen, Vorwärtsbringen und dessen Hülfsmittel gebraucht. Von diesen Bezeichnungen eines Thuns hob ich das Wort hinüber auf diejenige einer eigenthümlichen Körperverbindung. Dies gieng sprachlich ganz wohl an und ergab u. a. das gute Wort Getriebelehre für „Lehre von den Bewegungsmechanismen", wie man vorher gesagt hatte. Es ist doch nun recht sonderbar, mir das, mit neuem Gepräge versehene Wort wieder wegnehmen und anders gebrauchen zu wollen. Das muss doch zu Missverständnissen führen. Im Verlauf der obigen Sätze, die ich nicht etwa aus dem Zusammenhang gerissen habe, sondern die durch ihren Verfasser so abgetrennt hingestellt worden sind, wechselt aber wieder unruhig der Sinn des mir entlehnten Wortes. Im dritten Satz steht „Getriebe" genau an der Stelle, die „Mechanismus" im ersten einnimmt. Verbindet man Satz (2) und (3), so heisst es merkwürdiger Weise: „Maschine ist ein Mechanismus im Leerlauf im Arbeitsgange." Im fünften Satz wird wieder ausdrücklich gesagt, dass „Mechanismus" nicht „Getriebe" sei. Das sind wahre Räthsel.

---

*) Schiller: ... erhält sie das Getriebe durch Hunger und durch Liebe.

Die Hineinbeziehung der Bewegung, des „Ganges“ der Maschine in deren Begriffsbestimmung scheint mir recht unglücklich. Eine Lokomotive, die auf dem Bahnhof anlangt, verwandelt sich nach Hartig, sowie sie zur Ruhe kommt, in einen Mechanismus, beim Abfahren aber wieder in eine Maschine; Sonntags sind alle die, für die zahlreichsten Bestimmungen beschafften Maschinen nur noch Mechanismen, ja das geht durch das ganze Land. Welchen Gebrauch sollte die Technik von diesen Ansichten machen können?

Eine leerlaufende Lokomotive ist nach dem Satz (4) keine Maschine, sondern „Triebzeug“ und zugleich „Getriebe“. Und doch arbeitet die Lokomotive, die leer daherfährt — „eine leere Lokomotive“ heisst es ja in den Dienstvorschriften —, mit Dampf, Expansion und Auspuff wie sonst, nur braucht sie weniger Dampf und Brennstoff; auf dem Bahnhof, wo sie im Verschubdienst kilometerweit leer fahren muss, fallen beide gar nicht ausser Betracht; ein Unterschied gegen die, einen Zugdienst thuende Lokomotive ist also an ihr als einer „Maschine“ nicht zu erweisen.

Dass Hartig das Ganze der zwangläufigen Körperverbindungen einer Maschine einen „Mechanismus“ nennt, trägt nicht zur Klärung bei, da wir doch gesehen haben, dass allermeist eine Maschine mehrere, ja oft eine Vielzahl von Mechanismen enthält, und zwar Mechanismen auch nach Hartig so zu nennen. Er braucht also an den betreffenden Stellen auf einmal den Namen Mechanismus für eine Gesammtheit von Mechanismen. Das würde nun allerdings im rednerischen Sprachgebrauch wohl angehen, wo man etwa sagen könnte, der Mechanismus („*pars pro toto*“) irgend einer in Rede stehenden Maschine ermögliche das und jenes; dann ist aber gemeint die Gesammtheit der Einrichtungen der Maschine, soweit diese Gesammtheit Bewegungszwecken dient. Technisch oder wissenschaftlich ist man aber damit nicht weiter gekommen in Betreff der besprochenen Maschine; dazu würde es nöthig sein, auf die einzelnen Mechanismen, die die Maschine enthält, einzugehen. So könnte man z. B. rednerisch mit Hartig sagen, „der Mechanismus“ der Werder'schen Drahtstiftmaschine sei so beschaffen, dass in ihr aus Draht auf Rollen ohne Stoss oder Schlag fertige Drahtstifte mit nur einem Viertel Hundertstel verfehlter Stücke hergestellt würden. Welche Mechanismen aber dazu dienten, wäre dann noch gänzlich undurchdringlich, bliebe völlig unaufgeklärt.

So ist es mir denn nicht gelungen, aus den oben angeführten Sätzen unsres trefflichen Technologen eine Klärung des Maschinenbegriffes zu gewinnen. Die Sätze richten sich mehrfach wie in innerem Krieg gegeneinander. Als Ursache ist, wie ich glaube, die Auffassung anzusehen, welche Hartig dem „Werkzeug" zuwendet. Wir werden uns weiter unten mit diesem schwierigen Stoffe zu beschäftigen haben.

§. 39

Drei Arten der Analysirung der Maschine

Wir hatten gefunden, dass die Maschine aus Mechanismen zusammengesetzt ist und dass diese aus kinematischen Ketten gebildet sind, die ihrerseits sodann aus Elementenpaaren bestehen. Es ist daher, da wir noch gesehen haben, dass sich die Mechanismen, Ketten und Paare sogar durch eine sichere Zeichensprache ausdrücken lassen, thunlich, die ganze Maschine bis auf ihre Elementenpaare, die an der Bewegung betheiligt sind, zu zerlegen, sie in solche aufzulösen. Man kann ein derartiges Vorgehen

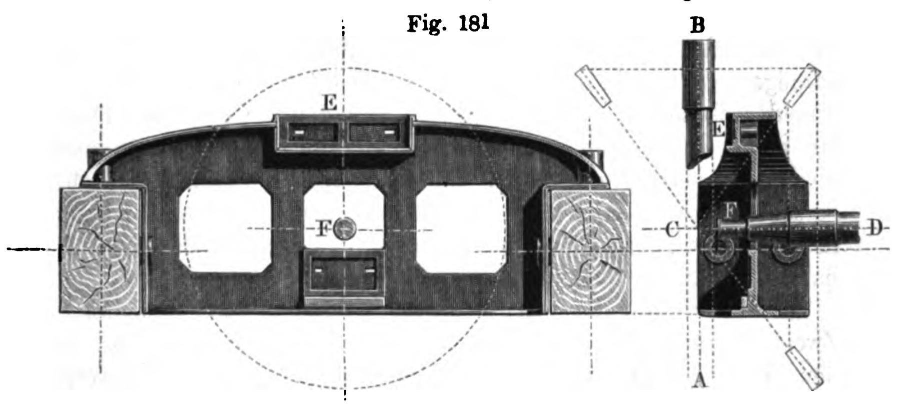
die Elementarzerlegung oder Elementaranalyse

nennen. Diese ist nützlich für den Anfänger, indem er alle, die Bewegungen bedingenden Theile aufzusuchen und zu Ketten und Mechanismen zu vereinigen haben wird. Man wird ihm zu Anfang recht einfache Aufgaben zu stellen haben, d. h. solche, die sich auf wenigtheilige Maschinen beziehen, wie z. B. auf einfache Pressen, Hebewerke, auch Hülfsvorrichtungen und Geräthe. Er wird an diesen zu untersuchen haben, ob und was für: Kurbelgetriebe, Schraubengetriebe, Zahngetriebe, Riementriebe usw. angewandt sind, aus welchen Ketten und aus welchen Paaren diese Mechanismen und Geräthe gebildet sind, welches Kettenglied fest aufgestellt ist usw. Beharrt man dabei bestimmt bei der Vorschrift, nur die gegeneinander beweglichen Theile ins Auge zu fassen, so liefert der Vergleich verschiedener Ausführungen, die demselben Zweck dienen sollen, oft bemerkenswerthe Ergebnisse. Dass z. B. der Lagerstuhl Fig. 181 für eine stehende Turbinenwelle und eine liegende Triebwelle sich auf

die Form Fig. 182 zurückführen lässt, wenn man die Elementaranalyse durchführt, klärt über die kinematische Bestimmung des Baustückes lehrreich auf. Aehnliches erreicht man bei anderen Vergleichen (s. Band I, S. 483).

Es ist übrigens keine ganz einfache Forderung, die Zerlegung auf die beweglichen und irgend welche Bewegung vermittelnden Theile zu beschränken, da sich häufig Theile vor-

Fig. 181



finden, die zweifellos kinematischer Natur sind und sich bewegen lassen, wenn sie sich auch beim Gang der Maschine nicht bewegen. So z. B. weist der obige Lagerstuhl nicht weniger als sechs Schrauben auf, mit denen er an dem Grundbau befestigt wird; auch erfordern seine beiden Lager sowohl Befestigungs- als Stellschrauben, ja auch Keilvorrichtungen und dergleichen. Zwar befinden sich diese Theile, wenn das Räderwerk des Lagerstuhls im Betrieb ist, in Ruhe, erfüllen also sicherlich nicht unmittelbar Zwecke des Zwanglaufs. Indessen ist dieser Widerspruch nur scheinbar. Ihr Zwanglauf fand wirklich statt bei der Aufstellung des Stuhles; er diente dabei zu ganz wesentlichen Zusammenpressungen, zu Stützungen, zu Einstellungen und Aehnlichem. Ueberhaupt dienen diese Theile zum Aufbau des Lagerstuhles. Ebenso verhält es sich in überaus zahlreichen anderen Fällen. Dies zeigt uns, dass ausser der elementaren noch eine zweite Analysirung:

Fig. 182

die bauliche Zerlegung oder Bauanalyse

der Maschine, erforderlich wird, wenn man letztere in kine-

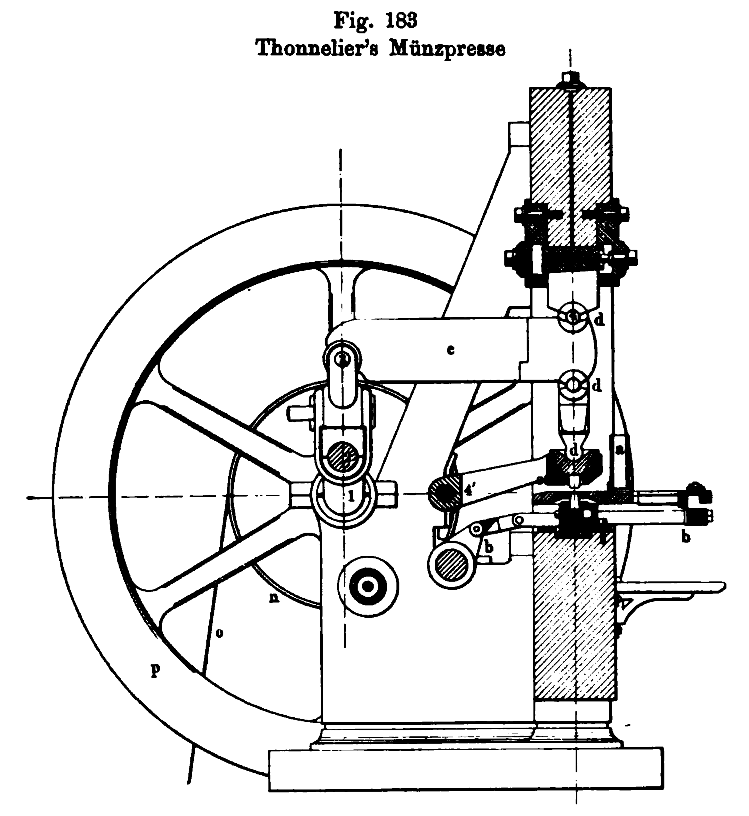
matischer Beziehung vollständig kennen lernen will. Diese zweite Analysirung führt uns gleichsam in die Werkstatt, wo die einzelnen Theile hergestellt und allmählich zusammengebaut werden. In den „Stücklisten“ der Werkstätten und auf den Werkzeichnungen erscheinen alle diese Theile mit Namen und Zahlen in mehr oder weniger guter Ordnung. Zweifellos aber steht dem allgemeinen Verständniss der Maschine bei dem reinen Praktiker und auch bei dem Mitglied der neuen Zeichnerkaste, von der wir S. 112 zu sprechen hatten, ein unübersteigliches Hinderniss entgegen, darin nämlich, dass in der Werkstatt gar kein Unterschied zwischen den bloss baulichen und den getrieblichen Theilen gemacht wird und gemacht werden kann. Denn beide sind gleicher kinematischer Natur, sind also ihren Formen nach nicht verschieden voneinander, während sie ihrer Zweckbestimmung nach sehr stark voneinander abweichen. Auf diese Unterscheidbarkeit muss die Bauanalyse eingehen.

Wenn sie auf diese Weise feststellt, zu welchen besonderen Zwecken die in der Maschine nicht beweglich mitwirkenden, in den kinematischen Ketten nicht erscheinenden Elementenverbindungen dienen, so ist mit ebenso hoher, wenn nicht höherer Berechtigung die Frage zu stellen, welchen getrieblichen Zwecken die eigentlichen Mechanismen zu dienen haben. Die oben schon einigemal berührte, auch früher schon, z. B. von Hülsse, erkannte Unterscheidung von Orts- und Formänderungszwecken (vergl. S. 190) ist zwar richtig, aber zu allgemein. Sie bezieht sich nämlich auf die ganze Maschine, nicht auf deren Mechanismen; ihr zufolge unterscheiden wir zwar deutlich zwischen den Fördermaschinen, Hebewerken, Fahrmaschinen der Eisenbahn, der Schifffahrt usw. einerseits, und den Maschinen zum Umformen von Körpern andrerseits, also dem Walzwerk, dem Dampfhammer, der Prägepresse, der Spinnmaschine, dem Webstuhl und überhaupt der grossen Zahl der formumwandelnden Maschinen, die Gegenstand der Technologie sind. Aber in der einzelnen Maschine der einen oder anderen Gattung sind die getrieblichen Zwecke der Mechanismen noch unter sich unterscheidbar, und darum handelt es sich.

Betrachten wir daraufhin beispielshalber eine Thonneliersche Münzpresse, die Fig. 183 in einem Durchschnitt darstellt, so sehen wir, dass von der Hauptachse aus ein Kurbelgetriebe der uns von S. 169 ff. bekannten Art $(C_4'')^d$ die Schwinge c schwin-

gend bewegt, diese wieder das Kniehebelwerk *d d d* 4′*), das abermals ein Kurbelgetriebe von der Form $(C_4'')^d$ ist. Diese Erkenntniss liefert die Elementaranalyse. Was uns aber hier wichtiger ist, ist der Umstand, dass beide Mechanismen zum Uebertragen von Kraft, zum „Treiben“ wollen wir es nennen, dienen. Noch ein anderer Mechanismus dient zum Treiben, das ist der Riementrieb, von dem wir die Scheibe *n* und den Riemen

Fig. 183
Thonnelier's Münzpresse



o sehen. Die aus den Zainen ausgestanzten runden Edelplatten, die bereits auf der Wägemaschine auf ihr Gewicht geprüft sind, sind im Rumpf *a* aufgeschichtet. Die unterste Platte tritt auf den Prägetisch. Sie wird von dem Hebelwerk *b b* gefasst und zwischen die Stempel geleitet, gerade bevor die Hauptkurbel die

*) Die Buchstaben der Figur sind die in Appletons „Cyclopaedia“ gegebenen, die Ziffern sind hinzugefügt.

gezeichnete Todtlage verlässt. Der Mechanismus bb ist wiederum ein Kurbelgetriebe, und zwar eines von der Form $(C_3'' P^{\perp})^d$ (vergl. S. 217). In diesem Augenblick ist dies, als Ergebniss der Elementaranalyse, weniger wichtig, als dass der Mechanismus die Werkstücke „leitet“, zur „Leitung“ dient. Dass er ein Kurbelgetriebe ist, ist nicht die Hauptsache, denn er könnte auch eine ganz andere Zusammensetzung haben; das Wesentliche ist, dass er leitet.

Die beiden Stempel, die durch die beiden zuerst genannten Kurbelgetriebe mit grosser Kraft gegeneinander bewegt werden, formen die Edelplatte, „gestalten“ sie zur Münze. Der hierfür nöthige Kraftaufwand wird während eines kleinen Winkels des Kurbelumlaufes ausgegeben; er würde durch den Riemen gar nicht auf das Stempelpaar übertragen werden können, wenn nicht das Schwungrad p eingeschaltet wäre. Dieses hält lebendige Kraft aufgesammelt, ähnlich einem Magazin, bildet ein Kraftmagazin oder einen Kraftspeicher, wie gelegentlich gesagt worden ist; ich nenne es eine Kraft-„Haltung“. Diese wird nach jedem Prägeschlag wieder durch den Riementrieb ergänzt. Das Rad ist so gross und schwer gewählt, dass seine Umfangsschnelle sich nur ganz wenig vermindert, wenn die erforderliche Arbeitsgrösse abgegeben wird.

Wir sehen hier nun vier Arten der Mechanismenverwendung in einer und derselben Maschine vereinigt. Die Ermittlung dieser verschiedenen Verwendungsweisen wollen wir

die getriebliche Zerlegung oder Getriebeanalyse

der Maschine nennen. Unter die gefundenen vier Bestimmungen lassen sich die Verwerthungen aller Mechanismen ordnen; ihre Zwecke sind hiernach:

Leitung, *Haltung*, *Treibung*, *Gestaltung*.

Es sei nicht unterlassen, zu bemerken, dass bei Fortsetzung der Bauanalyse unsrer Prägepresse man, abgesehen von den Zapfenlagern und einigen Verschraubungen, noch auf drei vollständige, beim Betrieb in Ruhe verharrende Mechanismen trifft, nämlich zwei mit Schraubenbetrieb eingerichtete Keilungen, davon eine über dem Schwingenlager 4 und eine zweite unter dem Unterstempel und sodann noch eine Keilung an dem Kopf 2 der Pleuelstange 2. 3.

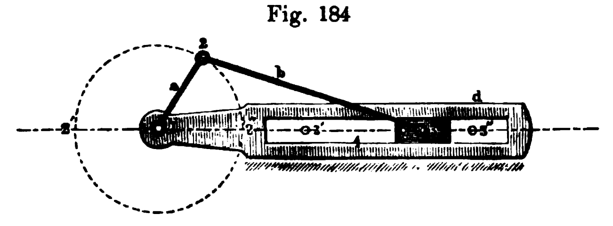
§. 40

Bauanalyse

Von den im vorigen Paragraphen dargelegten drei Analysirungen haben wir die erste bereits in §. 34 übersichtlich behandelt; ganz eingehend geschah dies aber ausserdem im ersten Bande*), auf den hier verwiesen werden kann. Auf die beiden andern, die bauliche und die getriebliche Analyse, müssen wir aber hier nun näher eingehen, indem diese dort noch nicht behandelt worden sind. Zuerst betrachten wir die Bauanalyse.

Während die Elementaranalyse sich mit den Elementenpaaren recht eingehend befassen muss, wird bei ihr die Bildung der Kettenglieder nicht weiter verfolgt. In den vollständigen kinematischen Formeln drücken wir die feste Verbindung der Elemente eines Gliedes durch eine Punktreihe aus, in welche wir noch ein geometrisches Zeichen einsetzen, das die gegenseitige Lage der Hauptachsen der Elemente angibt; das festgestellte Glied heben wir durch Unterstreichung hervor. So z. B. wird die durch Fig. 184 schematisch dargestellte „rotirende Schub-

Fig. 184



kurbel“ durch folgende Formel ausgedrückt:

$$C^{+} \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \perp \ldots \underline{(P) \ldots \perp \ldots C^{=}}$$

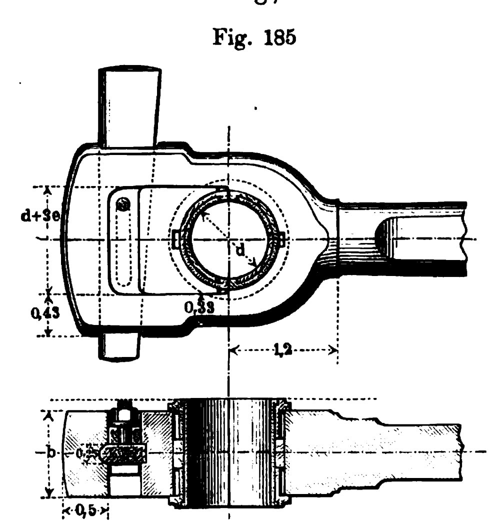
1 a 2 b 3 c 4 d 1

wobei ich der Deutlichkeit wegen die Elementennummern und die Zeichen der Glieder noch untersetze. Oben haben wir schon diese Formel in ihrer zusammengezogenen Form $(C_3'' P^{\perp})^d$ gebraucht. Gerade die Punktfolgen und die Unterstreichung geben nun Gelegenheit, oder manchmal auch ganz bestimmte Veranlassung zur Einschiebung von Aufbautheilen in Form der oben erwähnten,

*) Im 8ten, 9ten und 10ten Kapitel.

an dem Bewegungsgesetz des Mechanismus ganz unbetheiligten, auch in sich unbewegten Mechanismen. Der als Pleuelstange ausgebildeten Koppel *b* unsres Getriebes gibt man z. B. bei 2 die bekannte Bauart, die Fig. 185 andeutet. Sie umfasst zwei Mechanismen, nämlich ein Keilgetriebe zum Nachstellen der äusseren Schalenhälfte und ein Schraubengetriebe zum Festklemmen des Keiles in irgend einer seiner vorgeschobenen Lagen, genannt die Keilsicherung. Eben wegen dieser Sicherung, d. i. diesmal Festklemmung, kann er nicht durch den Zapfendruck herausgepresst werden und drückt seinerseits nun gerade so stark auf die Schale, dass der erwünschte Paarschluss an dem Zapfen stattfindet. Zu erwähnen ist auch die ruhende Sperrung des sonst drehrund hergestellten Schalenpaares mittelst der beiden deutlich erkennbaren Knaggen, die in je eine Rinne am Druckblock und im Lagergrund eingreifen; sie verhüten, dass die Schalen durch die Reibung herumgeführt werden. Das Keilgetriebe (dreitheilig) bildet nun mit dem Schraubengetriebe (ebenfalls dreitheilig) eine zusammengesetzte kinematische Kette, deren im Raumgebiet der Pleuelstange festgestelltes Glied der Schalenrahmen ist und sie dadurch zum Mechanismus macht. Dieser hat aber eine ganz bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit. Es ist die, dass er nach Festziehen der Schraubenmutter „übermäſsig geschlossen“ ist (vergl. S. 166); der Keil kann weder vor- noch rückwärts gezogen, überhaupt nicht gegen den Pleuelkopf bewegt werden, ganz so wie jedes der drei Glieder der Cylinderkette in Fig. 120 b. Ebenso ist das Schalenpaar gegen Druckblock und Schalenrahmen übermäſsig gegen Drehung geschlossen durch die sperrenden Knaggen.

Fig. 185



Was wir hier gefunden haben, gilt keineswegs von dem ge-

wählten Beispiel allein. Durchforscht man vielmehr irgend eine Maschine in Bezug auf die Zusammensetzung ihrer Bautheile oder, anders ausgedrückt, bezüglich der Bildung der „Glieder“ ihrer kinematischen Ketten, so findet man stets übermäfsigen Paar- oder Kettenschluss. Dieser zeigt sich gelegentlich unvollkommen, hat aber beim Fortschritt des Maschinenbaues fortwährend an Güte zugenommen, und war stets beabsichtigt. Wir haben demnach hier ein allgemeines Verfahren vor uns, das wir in den folgenden Satz fassen können:

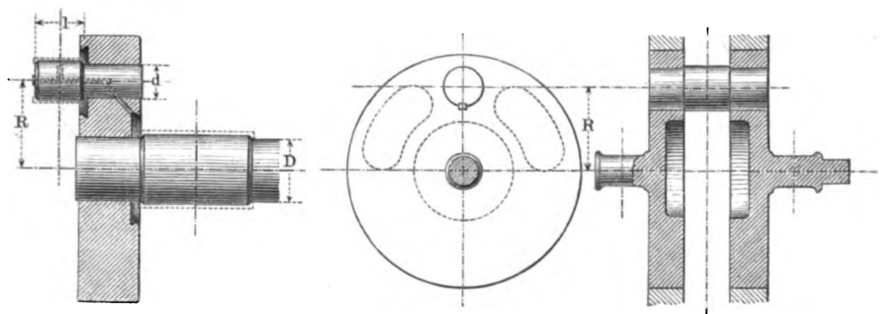
> XV. Bei der Anordnung der Aufbautheile der kinematischen Kettenglieder der Maschinen wird beabsichtigt, sie als übermäfsig geschlossene kinematische Ketten oder Elementenpaare wirken zu lassen.

Es wird zweckmäfsig sein, diesen wichtigen Satz noch an einigen Beispielen näher zu erörtern; wir können dabei zunächst den Elementenpaaren nachgehen.

Cylinderpaare. Die Stirnkurbel von Sweet'scher Bauart, Fig. 186, zeigt zwei parallele Cylinderpaare mit übermäfsigem Paarschluss. Bei beiden ist der Vollcylinder auf der Zwängungs-



Fig. 186 Fig. 187



presse in den Hohlcylinder hineingepresst, und zwar, da man den Vollcylinder beim Abdrehen um etwa $^1/_{1400}$ dicker gelassen hatte, als die Höhlung weit war*), so fest, dass weder Verschiebung noch Drehung der Vollcylinder in den Hohlcylindern durch die beanspruchenden Kräfte möglich ist. Dasselbe gilt von den beiden Paarungen am Hohl- und Vollcylinder in der

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 60, auch Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., S. 726.

sogenannten Hammkurbel, Fig. 187. Auch die Räder der Eisenbahnfahrzeuge werden jetzt soviel wie ausnahmslos auf die Achsschenkel gepresst oder aufgezwängt. Bei den Wagenrädern beträgt der übliche, durch die Durchmesserverhältnisse bedingte Aufzwängungsdruck 30- bis 50000, bei den Lokomotivrädern 80- bis 100000 kg. Beim sogenannten Aufschrümpfen wird für dieselbe Zwängung Wärme zu Hülfe genommen, das Hohlstück durch dieselbe gedehnt, worauf es sich, wenn die Abmessungen passend gewählt waren, nach dem Aufsetzen so zusammenzieht, dass der gewünschte übermäfsige Schluss entsteht *). Das Aufschrümpfen ist schon sehr alt, das Aufzwängen in gewöhnlichem Wärmezustand indessen erst gegen Mitte unsres Jahrhunderts aufgekommen. Hervorzuheben ist, dass in beiden Fällen die Reibung es ist, die das gegenseitige Bewegen der beiden Elemente Hohl- und Vollcylinder, in der Zeichensprache C^- und C^+, ausschliesst, während geometrisch der einfache Umschluss $C^{\underline{-}}C^+$, aber nun übermäfsig, statthat.

Cylinderketten. Der übermäfsige Schluss, den eine dreigliedrige geschlossene Cylinderkette liefert, wird ungemein viel

Fig. 188

Warren'scher Brückenträger

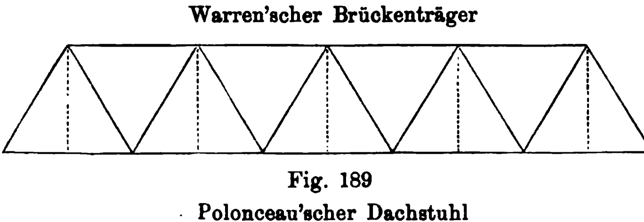
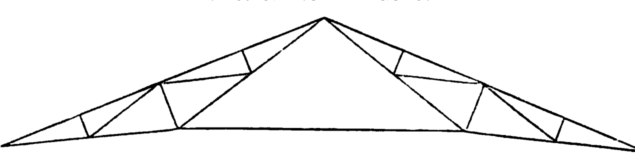


Fig. 189

Polonceau'scher Dachstuhl



in Eisenbauwerken, namentlich Brücken und Dachstühlen benutzt, indem man das ganze Bauwerk aus aneinandergereihten kinematischen Ketten dieser Art bildet. Beispiele stellen die hier stehenden drei Figuren dar.

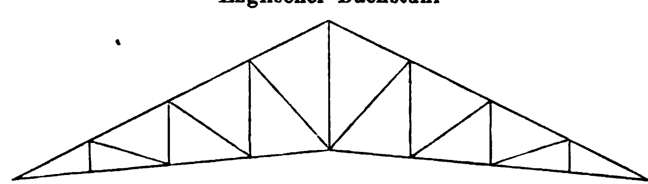
Man pflegte bislang zu sagen, dass man solche Bauwerke aus unverschieblichen Dreiecken bilde. Allgemein aber ist die

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 174.

Erklärung, dass sie aus übermäſsig geschlossenen Zwanglaufketten hergestellt werden, indem es auch andern übermäſsigen Schluss gibt, als den mit Dreiecken. Die neuere Ingenieurkunst verfährt nach diesem Satz, indem sie unter vorläufiger Wegdenkung des, auf seine Beanspruchung zu untersuchenden Gliedes die Bewegung der hierdurch frei werdenden zwangläufigen Glieder um ihre Pole nach Fig. 126 untersucht und dadurch die Kräfte ermittelt. Hierbei lassen sich die günstigsten Winkelgrössen ver-

Fig. 190

Englischer Dachstuhl

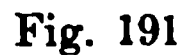


hältnissmäſsig leicht auffinden. Ist die Ermittlung geschehen, so setzt man das weggedachte Glied wieder ein. Zum obigen Warren'schen Brückenträger sei bemerkt, dass die punktirten Senkrechten nicht Kettenglieder, sondern nur Hängestangen vorstellen, die das zwischen die Gelenkknoten fallende Stück der Brückenbahn tragen helfen und deren Lastwirkung auf die obere Gurte übertragen.

Die Amerikaner wenden die Bauform mit wirklichen Cylindergelenken bei Trägerbrücken mit dauernder Vorliebe an. Fig. 191 (a. f. S.) zeigt einen solchen Gelenkknoten mit seinen Einzelheiten. Die Stäbe, die die Hohlcylinder C^- an ihren Enden tragen, heissen bei ihnen Augenstäbe (*eyebars*). Die „Augen" für diese Stäbe, versehen mit einem kurzen Fortsatz zum Anschweissen, werden von den Eisenwerken in allen gebräuchlichen Grössen geliefert. Das höchste statthafte Spiel zwischen Bolzen und Bohrungswand ist $^1/_{64}''$ oder $^4/_{10}$ mm *). In Europa zieht man vor, die Knotenbildung durch Nietung herzustellen, was die bauliche Annehmlichkeit mit sich bringt, die Theile mehr in einerlei Ebene anzubringen, als bei der Form Fig. 191 angeht. Als Beispiel sei das, in Fig. 192 (a. f. S.) dargestellte Joch des beweglichen Seine-Wehres zu Suresnes bei Paris angeführt. Platten mit Nietung vertreten die Gelenke. Ueber die eckverbindenden Druckstäbe hin sind noch

*) Régnard gibt in der Revue industrielle 1886, S. 328 $^1/_2$ mm an.

Zugbänder von Eck zu Eck geführt und mit ihnen vernietet. Dadurch wird die Reinheit des Gelenkgefüges allerdings auf-


Fig. 191

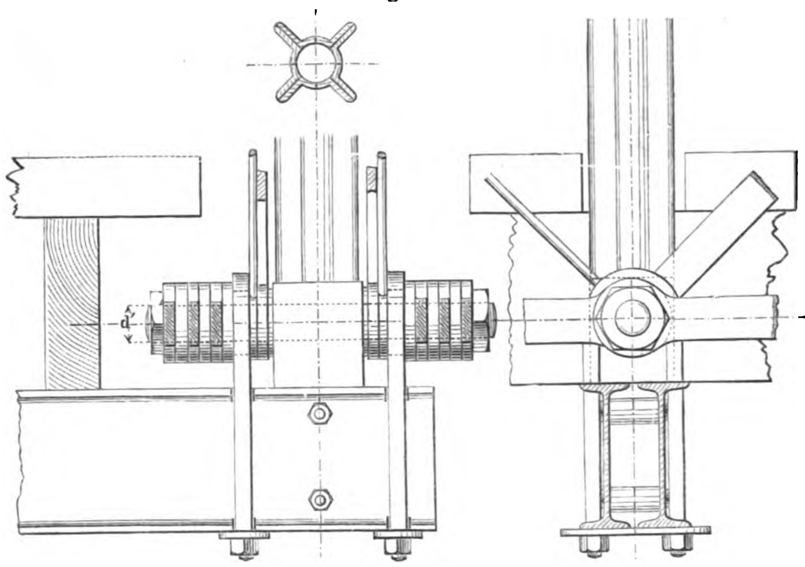
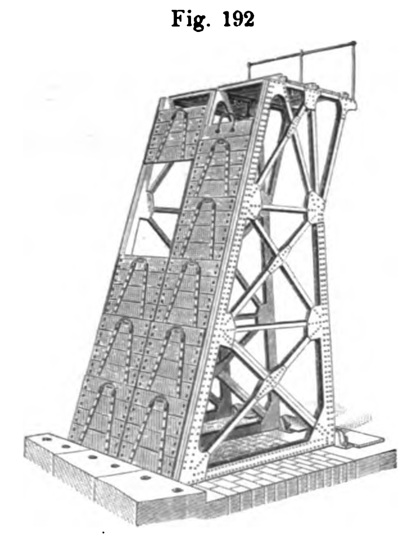


Fig. 192



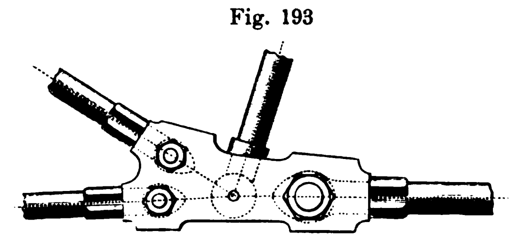
gehoben, was unerwünscht ist, dagegen die Strebfestigkeit der Stäbe nach bekannten Festigkeitsgesetzen rund vervierfacht. Die Verfechter des ganz reinen Gelenkbaues legen einen besonderen Nachdruck darauf, dass die Bautheile in der Fabrik fertig gemacht, und dass demzufolge die damit herzustellenden Brücken sehr schnell aufgestellt werden können. Ein ganz entschiedenes Uebergewicht der einen über die andere Bauweise haben die praktischen Ergebnisse bisher nicht erkennen lassen *).

Bei Dachstuhlbauten lösen

*) Obwohl beide Parteien es behaupten, vergl. die sorgfältige Ermittlung von H. Fontaine in dessen „*Industrie des États-Unis*“, Paris 1878.

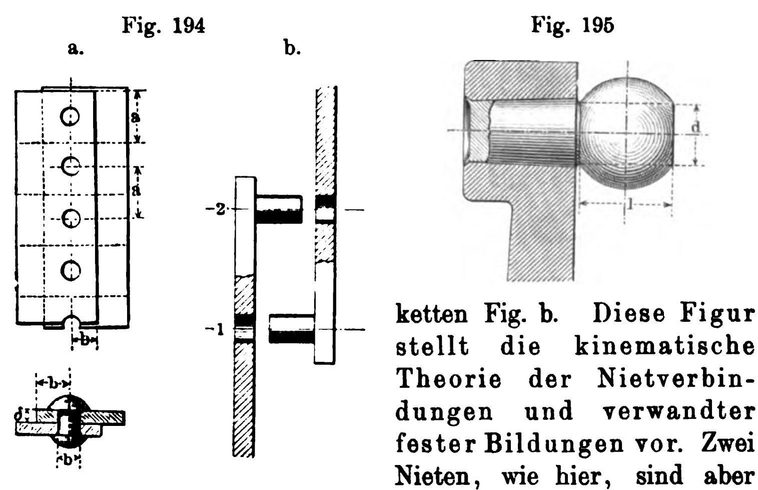
Manche das reine Gelenk der übermäſsig geschlossenen Cylinderkette in mehrere, z. B. vier Gelenke auf, wie Fig. 193 darstellt, um die Glieder in einerlei Ebene zu bringen. Man darf indessen nicht vergessen, dass man im Grunde damit die Dreigliedrigkeit der Cylinderketten wieder aufhebt, wennschon die Beweglichkeit ganz gering ausfallen mag.

Fig. 193



Nietungen. Selbstredend sind zweigliedrige Cylinderketten übermäſsig geschlossen, da schon dreigliedrige es sind. Dies benutzt man bei den Nietungen. Eine Nietnath, wie Fig. 194 a sie darstellt, besteht aus einer Vereinigung von lauter zweigliedrigen, jede in sich schon übermäſsig geschlossenen Cylinderketten Fig. b. Diese Figur stellt die kinematische Theorie der Nietverbindungen und verwandter fester Bildungen vor. Zwei Nieten, wie hier, sind aber mindestens erforderlich, um die Drehung und die runden Nietschäfte auszuschliessen. Bemerkenswerth ist beim Nietschluss — mit Recht heisst der zuletzt gebildete Kopf der Schliesskopf —, dass es nicht die Reibung ist, die den übermäſsigen Schluss endgültig macht, sondern das Herumschmieden oder „Verblinken“ des Kopfes, der die Verschiebung der Länge des Schaftes nach verhindert. Indessen kann doch vermittelst der Reibung auch eine einzige Niete übermäſsig schliessend gemacht

Fig. 194 Fig. 195



werden, wie z. B. in der Esslinger Befestigung des Kurbelzapfens, s. Fig. 195 (a. v. S.), geschieht. Das Drehkörperpaar ist hier insbesondere, abweichend von der Zwängung Fig. 186, ein Paar aus Voll- und Hohlkegel, $\underline{K^{+}}K^{-}$. Das Drehkörperpaar von irgend einem Profil ist das allgemeine Umschlusspaar für Achsendrehung, das Cylinderpaar ist ebenso wie das vorstehende nur ein besonderer Fall. Gutes Einnieten des Zapfenstiels, Fig. 195, schliesst das Paar übermäfsig, wie die bei Fig. 186 besprochene Einzwängung.

Keilungen, von denen Fig. 196 ein ganz bekanntes Beispiel vor Augen führt, sind Mechanismen aus dreitheiligen kinematischen Ketten von der Formel $(P_3^{\angle}$ spr. „P geneigt 3“. Durch das Aufstützen des Stangenbundes auf den Rand der Hülse wird das Spiel der Keilung begrenzt und die Verbindung übermäfsig schliessend gemacht. Voraussetzung ist Kleinheit des Keil-

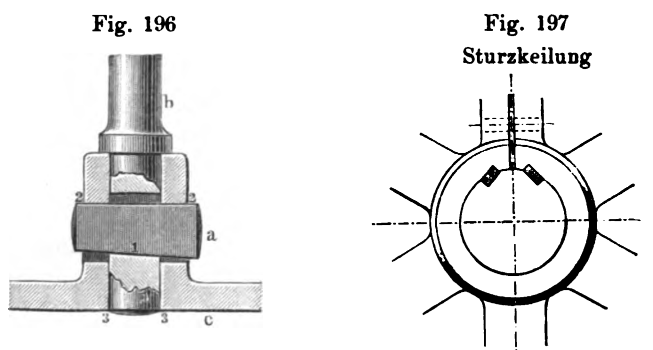


Fig. 196

Fig. 197 Sturzkeilung

winkels und festes Eintreiben des Keiles behufs Hervorrufung genügender Spannungen in den drei Stücken. Ein Zug an der Stange vermag dann nicht, den Keil rückläufig zu bewegen. Es ist demnach wieder die Reibung, was den übermäfsigen Schluss hier bewirkt. Dass dieselbe bei einigermafsen erheblichem Keilwinkel nicht ausreicht, sahen wir oben bei Fig. 185, wo eine Feststellung des Keiles durch ein Schraubengetriebe stattfand. Die Bauarten der Keilverbindung für mancherlei mechanische Zwecke befinden sich noch in fortschreitender Entwicklung *). Angeführt seien hier, um letztere zu zeigen, die Peters'sche

*) Der Keil wurde früher in maschinenbaulichen Schriften nur nebenbei erwähnt; als besonderes Maschinenelement hat ihn zuerst der Verfasser in seinem Konstrukteur (1869) behandelt, Jahre vorher schon in seinen Vorlesungen.

Keilung, Fig. 197, bei der zwei Paare von „Sturzkeilen", deren Winkel sich zu 180° ergänzen, eine Nabe fest auf eine Welle ziehen, was sich u. a. für Schwungradbefestigung sehr bewährt hat, und dann die Woodruff'sche oder Halbmondkeilung, Fig. 198, bei der die schräge Fläche in der Nabenhöhlung sich mit aller Sicherheit an den Keilrücken anlegt. Wie weit die Verfeinerung in den Keilungen geht, zeigt die in Fig. 229 dargestellte Befestigung eines Werkzeuges *W* (in einem Bohrgeräth) mittelst

Fig. 198
Halbmond-Keilung

Fig. 199
Höhere Keilung

zweier Keilungen höherer Ordnung, links Schraubengetriebe und Keilung, 2te Ordnung, rechts Schraubengetriebe mit zwei aufeinanderfolgenden Keilungen, 3te Ordnung. Alles das zeigt zunehmende Ausbildung der Art und Weise, wie mittelst des Keilgetriebes Glieder der kinematischen Kette aufgebaut werden.

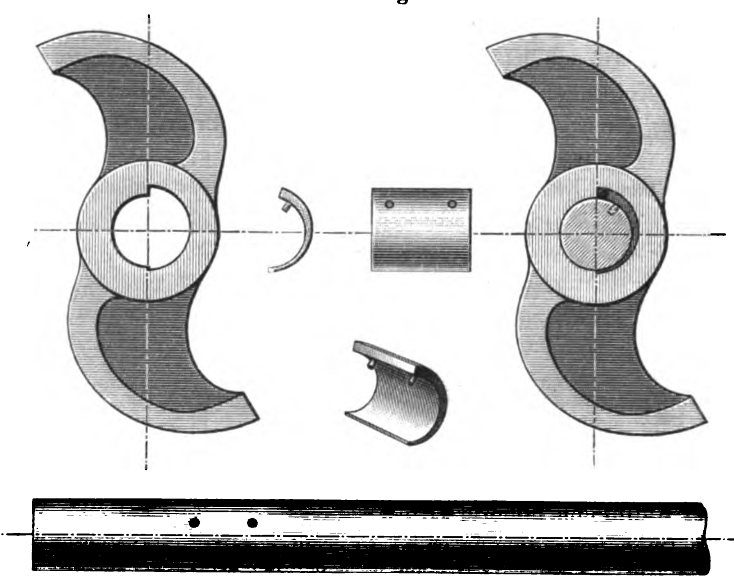
Einer ganz besonderen Keilung muss ich hier aber noch erwähnen; es ist die mit kreisförmig gebogenem Keil, Fig. 200 (a. f. S.). Derselbe ist von Blanton mit vorzüglichem Erfolg für die Befestigung von Hebedaumen in den überaus stempelreichen Pochwerken für Goldgruben eingeführt worden*); der Bogenkeil hängt mit zwei Stahlstiften in Löchern, die in die Welle eingesenkt sind. Die Verbindung wirkt nach Aufschiebung der Nabe für den einen Drehungssinn augenblicklich und völlig sicher, während andrerseits nach Stillsetzung der Welle ein gut angesetzter

*) S. Engineering and Mining Journal, Neuyork, vom 10ten März 1895, S. 227.

Hammerschlag in der Drehrichtung die Verbindung wieder löst. Fast ganz dieselbe Verbindung ist bei uns schon lange bekannt

Fig. 200

Blantons Bogenkeil



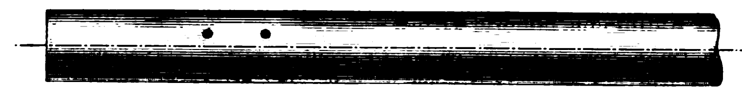


Fig. 201

Bogenkeilung

a. b. c. d.

gewesen als der Kernaul'sche Bogenkeil *). Sie hat sich, nach anfänglich rascher Aufnahme, anscheinend nicht bewährt, aber bloss wegen eines kleinen, jedoch sehr wichtigen Umstandes: der Erfinder hatte, statt den Keil fest auf die Welle zu hängen, wie später Blanton that, ihn bloss an der Sohle gezähnelt

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 190.

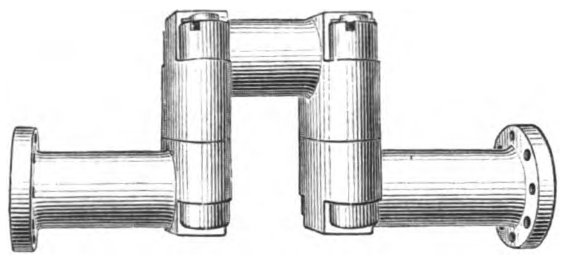
und mit einer Druckschraube, s. Fig. 201 a, angepresst, auch für die Verwendung in rein drehrunden Hülsen noch eine Lösungsschraube b hinzugefügt. Die Zähnelung der Keilsohle aber schliff sich glatt und die Verbindung versagte alsdann. Der Erfinder war von der älteren Keilung aus Prismenpaaren ausgegangen, welchem Gedanken zufolge dann das Längenprofil des Keiles eine logarithmische Spirale sein müsste. Das Festheften des Keiles mit einem Mittel wie die Stifte ist aber nothwendig, wie sich kinematisch wie folgt erklärt. Es hat zur Folge, dass Welle und Bogenkeil zu einem Stück zusammentreten. Dieses Stück aber besteht, s. Fig. 201 b, aus zwei Cylindern von parallelen Achsen, und diese beiden Cylinder, bezw. Abschnitte von solchen, sind gepaart mit den zugehörigen Hohlcylindern an der Hülse. Das, was hierbei entsteht, ist nichts Anderes als die zweigliedrige Cylinderkette (C_2''), die wir in Fig. 194 b betrachtet und schon vorher als stets übermäfsig geschlossen erkannt haben; die Hülse kann sich nicht um zwei verschiedene geometrische Achsen, die demselben Stück angehören, drehen, oder nicht zwei Herren dienen, wie man bei Uebertragung des Falles auf das sittliche Gebiet sagen würde. Wegen der nur theilweis stattgehabten Ausführung der beiden Paarungen lässt sich der übermäfsige Schluss in angedeuteter Weise auch leicht aufheben. Das aber zeigt, dass die Blanton'sche Bogenkeilung ein „laufendes Gesperre ist“, siehe Fig. 206 a, in dem einen Sinne undrehbar gegen die Welle, im anderen drehbar. Genau entsprechend der Herleitung aus (C_2''), Fig. 194 b, ist es auch, dass die Zusammenführung der beiden Theile in der Achsenrichtung zu geschehen hat. Man kann die Bogenkeilung auch zweiseitig wirkend machen, was für Kupplungen sofort anwendbar wird, wenn man sie so baut, wie Fig. 201 c und d andeuten. Immer gleichen Drehungssinn vorausgesetzt, wird beim ersten Anlassen alles fest.

Das Schraubengetriebe, gebildet aus der zwangschlüssigen kinematischen Kette ($C'P'S'$) wird am häufigsten zum Aufbau von Gliedern der kinematischen Kette benutzt*). An Lagern, Pleuelstangen, Gefässen, Deckeln, Röhren, Schienen usw. dient in bekannten unzähligen Anwendungen als Gliedbildungsmittel mit übermäfsigem Schluss die Befestigungsschraube. Wie man sie auf dem Gliedaufbau an der Krummachse verwendet,

*) C' bedeutet „C konaxial“, sprich einfach „C Strich“.

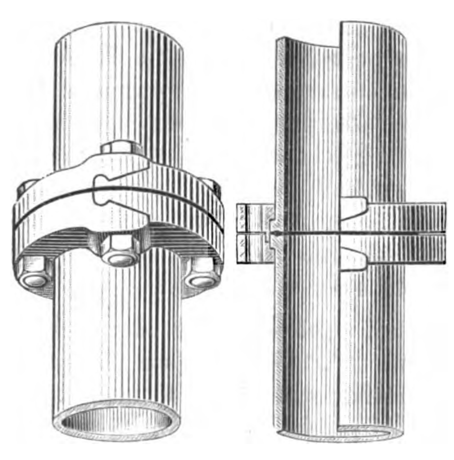
zeigt die Turton'sche Bauart der Wellenkröpfung, Fig. 202; vier gewaltige Schrauben halten den Kurbelzapfen mit den beiden Schenkelstücken oder Wangen in übermäſsigem Kettenschluss zusammen.

Fig. 202
Turton'sche Krummachse



Um zu zeigen, wie man manchmal zwei Schliessungen gleichzeitig durch dieselbe Schraubenverbindung bewirken kann, sei auf die folgende brauchbare Flantschenverbindung hingewiesen. Hier werden zwei Paare von Halbflantschen unter sich zu einem Ringpaar verbunden und zugleich durch dieses die beiden Rohrenden gegeneinander gepresst; ein eingelegter Dichtungsring sichert den dichten Verschluss.

Fig. 203
Airds Rohrverbindung



Damit eine Schraubenverbindung nicht durch den Gegendruck des zu befestigenden Stückes gelöst, d. h. die Schraubenmutter nicht rückläufig getrieben werde, muss der Steigungswinkel der Schraube klein gehalten werden; es ist also wieder die Reibung, die eigentlich den übermäſsigen Schluss vollendet. Diese reicht aber nicht aus, wenn die Verbindung starken Erschütterungen oder mächtigen Stosswirkungen ausgesetzt ist, wie z. B bei Abfeuerung der Geschütze auf Kriegsschiffen. Um auch solchen Wirkungen gegenüber die Schraubenverbindung geschlossen

zu halten, gibt man ihr eine zusätzliche Schliessung, die man (nach des Verfassers schon altem Vorschlage) eine Sicherung nennt. Eine der besten Schraubensicherungen ist die bekannte Penn-sche, Fig. 204. Bei ihr wird in einen cylindrischen Fortsatz der Mutter eine stählerne, geschärfte Klemmschraube eingedreht, die ihr Muttergewinde in einem undrehbar gelagerten Ringe findet. Es ist mehr als Reibung, es ist ein wirkliches, der Verklinkung in Fig. 195 verwandtes Einkerben, was die Mutter nun gegen den Ring undrehbar macht. Die weniger bekannte Downing-sche Sicherung, Fig. 205, verhindert die Drehung der Mutter

Fig. 204
Penn'sche Schraubensicherung

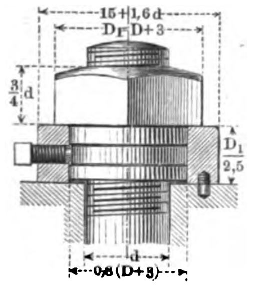
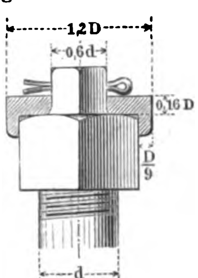


Fig. 205
Downing'sche Schraubensicherung



durch eine sechskantig gehöhlte Kappe, die auf einem, am besten fünfkantigen*) Fortsatz des Schraubenschaftes sitzt und daselbst durch einen Splint gehalten ist; hier kann Sicherung nach jeder 30stel-Drehung stattfinden. Die bei Downing eintretende übermäfsige Schliessung beruht nicht auf Reibung, wie mehrere der vorausgehenden, sondern auf der Anwendung eines „Gesperres", insbesondere „Zahngesperres".

Die Gesperre sind Getriebe, in denen, je nach Einstellung ihrer Theile, die übermäfsige Kettenschliessung, die wir bei Fig. 120b an den Ketten aus Cylinderpaaren kennen lernten, kinematisch nützlich gemacht wird**). Dies geschieht in ausgedehntem Mafse in beweglichen Getrieben, weshalb später auf sie noch näher eingegangen werden muss; hier handelt es sich zunächst nur um ihre Eigenschaft, übermäfsige Schliessung, also

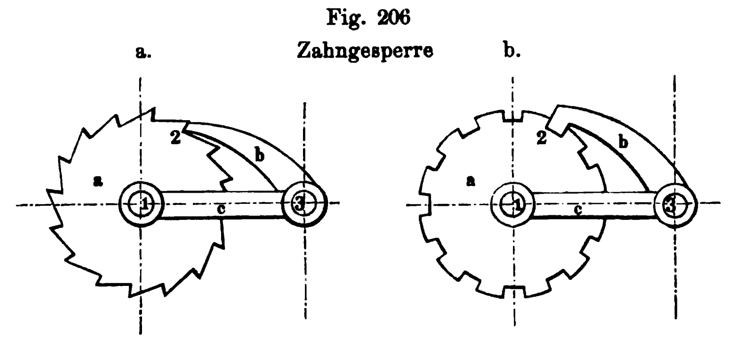
*) Nicht sechskantigen, wie der Erfinder angab.

**) Der Verfasser hat in seinem Konstrukteur, IV. Aufl., zuerst grundsätzlich gezeigt, welche ausserordentliche Verwendung die Gesperre im Maschinenwesen finden und welche, bis dahin nicht gewürdigte Bedeutung ihnen thatsächlich zukommt.

Unbeweglichkeit, herbeizuführen. Es gibt zwei Klassen von Zahngesperren, die laufenden, Fig. 206 a, und die ruhenden, Fig 206 b. Erstere schliessen bei kraftschlüssiger Einlegung der „Sperrklinke“ *b* das Sperrstück *a* übermäſsig gegen Drehung in nur einem der beiden Bewegungssinne, letztere in beiden Bewegungs-

Fig. 206

a. Zahngesperre b.



sinnen. Die Downing'sche Schraubensicherung ist hiernach ein ruhendes Zahngesperre, dessen Klinkenaushebung oder sogenannte Lösung in der Richtung der Drehachse der Schraube erfolgt. Die ruhenden Zahngesperre werden bei den ungemein wichtigen Schraubenverbindungen, die an der Griffith'schen Schiffsschraube und verwandten Bauarten der Triebschraube erforderlich sind, in einer Reihe von Formen mit ausgezeichnetem Erfolge benutzt*).

Gliedbildung an Zugelementen. Werden Zugelemente so wie beim Riementrieb endlos um zwei Rollen gelegt, so sind sie in sich selbst zurücklaufend herzustellen. Bei den Ketten ist dies leicht, namentlich den Gelenkketten, die so zu sagen allein beim Kettentrieb in Betracht kommen; die Verbindungsgelenke unterscheiden sich nicht von den übrigen.

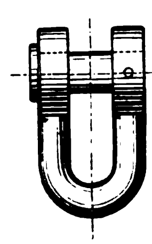
Beim Riemen ist es schon weniger leicht; da muss genäht, vielleicht auch zugleich geklebt werden. Riemenschlösser aus Metalltheilen, mit Schrauben, Häkchen u. dergl. werden auch angewandt, die verbreitetste Form bleibt immerhin die der Nath mit Kronlederbändchen**). Beim Hanf- und Drahtseil wird mit grösstem Vorzug der Spliss angewandt, der ebenso wie das Nähen eigentlich der handwerklichen Fertigstellung des Zugelementes angehört.

---

*) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 223 ff.
**) S. ebenda S. 775.

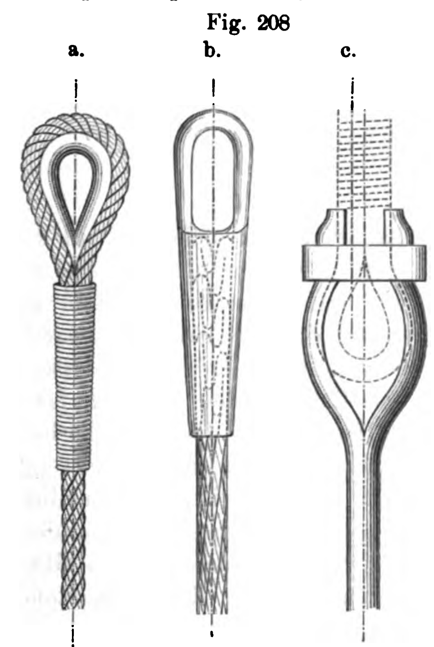
Anders steht es bei den nicht endlosen, sondern endhaften Zugelementen, da sie an beiden Enden nicht mit ihres Gleichen, sondern mit andern Körpern zu verbinden sind. Bei der Schakenkette dient hierzu als vermittelnder Theil der Schekel, Fig. 207, dessen Querbolzen herausnehmbar ist; in ihn hängt man den Haken, oder was sonst die letzte Endigung bilden soll, ein. Haken und Schekel bilden mit der Kette zusammen das fertig gestellte, aus Zugelementen gebildete kinematische Kettenglied.

Fig. 207



Bei den Seilen ist die dem Vorstehenden entsprechende Fertigstellung keineswegs leicht. Zwar ist bei Hanfseil und Drahtseil die Kausche, Fig. 208 a, wohl gebräuchlich; diese hat aber die Schwäche, den übermäſsigen Schluss wieder der Reibung zu verdanken, indem innerhalb der Bewicklung oder „Zurring" der Seilzopf versplissen ist; auch ist sie schwächer als das Seil. Für Drahtseile bewährt sich die „Seilbüchse", Fig. 208 b, wenn jeder Draht des stumpf abgeschnittenen Seilzopfes einzeln umgeknickt wird und die Knickungen schlank vertheilt werden. Dann gestaltet sich nämlich das Zopfende zu einem kegelförmigen Knoten, der durch die Mündung der Büchse nicht durchgezogen werden kann; er wird durch Ausgiessen mit Zink noch in allen Fugen ausgefüllt. Die Gebrüder Otis wenden bei ihren ausgezeichneten Personenaufzügen die Gabelkausche, Fig. 208 c, an, bei der das Zopfende nicht versplissen, sondern durch eine Schraubenkluppe so stark eingeklemmt und verdrückt wird, dass es nicht aus ihr herausschlüpfen kann.

Fig. 208

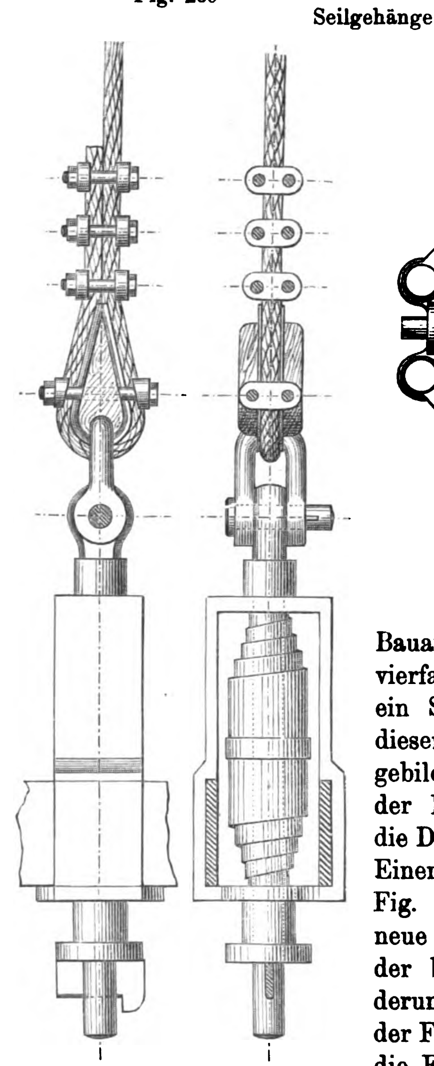


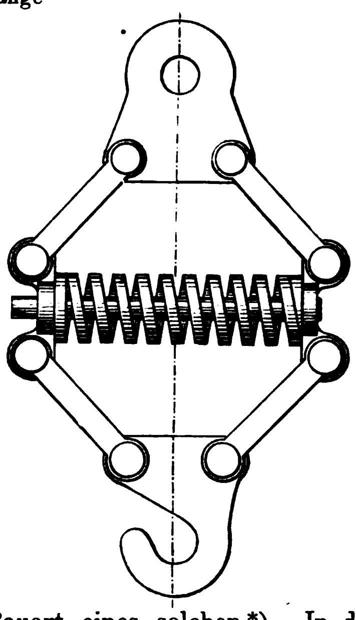
Bei Förderseilen wirkt plötzliches Anheben sehr gefährdend

auf das untere Seilende, weil der Ruck zu allernächst dieses trifft. Man schaltet deshalb jetzt ziemlich allgemein einen Buffer an der Angriffsstelle ein; damit entsteht dann ein vollständig ausgebildetes „Seilgehänge". Fig. 209 zeigt die Osterkamp'sche

Fig. 209 Fig. 210

Seilgehänge



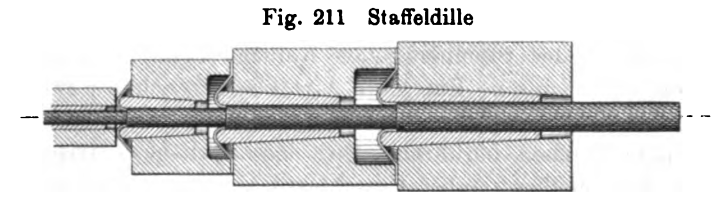


Bauart eines solchen *). In die vierfach verschraubte Kausche ist ein Schekel eingehängt und an diesen der, aus zwei Kegelfedern gebildete Buffer angeschlossen; der Rahmen des letzteren fasst die Deckbalken des Förderkorbes. Einen anderen Seilbuffer zeigt Fig. 238; es ist der ziemlich neue Hollis'sche **); vermöge der bei ihm angewandten Gliederung wächst der Widerstand der Feder am Haken stärker, als die Fortschreitung zunimmt.

*) Vergl. Weiteres im Konstrukteur, IV. Aufl., S. 757.
**) S. Engineering and Mining Journal vom 11. Sept. 1897.

Ich bin etwas näher auf die Gliedausbildung des Seiles eingegangen, um die Schwierigkeiten, die sich bei der scheinbar so einfachen Aufgabe erheben, darzulegen. Die Schwierigkeit, ein Seil mit seinem Ende an anderen Bautheilen zu befestigen, steigt noch ganz bedeutend, wenn es sich um grosse Hängebrücken handelt, weil hier ganz ungeheure Kräfte durch die kinematisch aufgebaute Gliedendigung aufgenommen werden müssen. Hier ist die grösste Sorgfalt erforderlich, um die Festigkeit der Drahtseile möglichst auszunutzen. Der amerikanische Civil-Ingenieur-Verein hat hierfür sehr werthvolle Versuche angestellt. Aus den Ergebnissen derselben führe ich in Fig. 211 die von Spilsburg

Fig. 211 Staffeldille



angegebene Bauart der so zu nennenden Staffeldille (*steeple rocket*) an, in die allmählich die trichterförmige Seilbüchse aus Fig. 208 b umgewandelt worden ist. Das sehr schlank gewundene Seil besteht aus ringförmig geordneten Drahtschichten, die im Kreuzschlag aufeinander folgen. Auf der ersten Staffel wird die äusserste Drahtschicht losgelöst, und Draht um Draht sorgfältig über die hälftig eingesetzte Keilhülse gebogen und nach aussen gelegt, auf der zweiten Staffel die zweite, auf der dritten die dritte u. s. f. Die Zerreissversuche ergaben nunmehr stets, dass das Seil ausserhalb der Dille riss, während bei der Seilbüchse, Fig. 208 b, immer die äussersten Drähte zuerst und zwar innerhalb der Büchse gerissen waren.

Gliedbildung an Druckelementen. Auf den ersten Blick machen die Druckelemente, bildsame Elemente oder Flude, als: Wasser, Gas, Dampf, Luft, Gasgemische, breiige, körnerige, schlammige Stoffe, erweichte oder zum Fliessen gebrachte Metalle usw., nicht den Eindruck, als ob sie mit starren Elementen zu kinematischen Kettengliedern verbunden werden könnten, da sie doch bloss Druckkräften zu widerstehen vermögen. Indessen ist es doch der Fall. Die Einrichtung wird bloss derart beschaffen sein müssen, dass die starren Gebilde sich wiederum nur mit Druck dem Flud anschliessen. Die Gliedendigungen, die hier in Be-

tracht kommen, sind aber die Kolben oder Stempel. Indem diese sich in Gefässen dicht schliessend bewegen, erfüllen sie vorerst dieselbe Bedingung, die zu ihrer Paarung mit starren Elementen erforderlich sind, wie in Röhren, Kanälen, Rinnen usw., nämlich die, das Flud zusammenzuhalten; sodann aber geben sie die Möglichkeit, das Flud auf andere Glieder der kinematischen Kette wirken zu lassen, bezw. von ihnen bewegt zu werden. Die Kolben sind demnach starre Abschlüsse der Enden der Fludstränge und sind die Gegenstücke zu den Kauschen, Haken, Gehängen, Büchsen, Dillen der Zugelemente. Sie werden vorzugsweise da angewandt, wo die auf S. 212 besprochene „statische" Wirkung ausgeübt werden soll.

Die Hülle des Stempels oder Kolbens nenne ich im allgemeinen eine Kapsel. Ein ganz zuverlässiger Schluss zwischen Kapsel und Kolben ist nur dann leicht zu erreichen, wenn beide einander in Flächen berühren. Dies lässt sich geometrisch nur bei den drei niederen oder Umschlusspaaren von S. 156, dem Cylinder-, dem Prismen- und dem Schraubenpaar erreichen. Am allergebräuchlichsten ist das Prismenpaar, insbesondere, wenn die Grundfigur des Prismas der Kreis ist*).

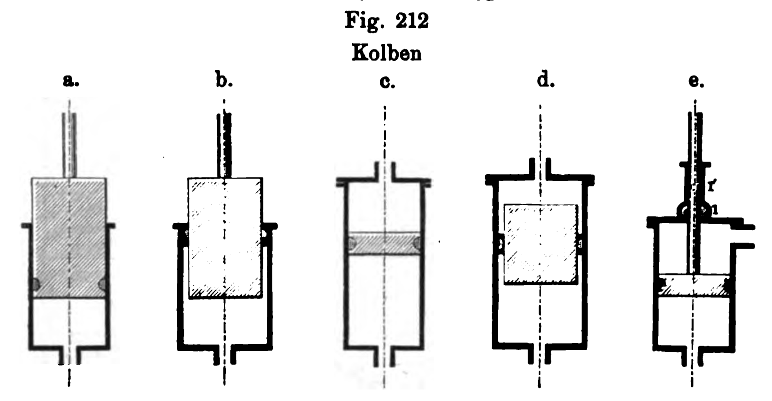
Das Zusammenschleifen von Kapsel und Kolben behufs Herbeiführung dichten Verschlusses wird nur selten angewandt, beispielsweise bei den Indikatoren. Gewöhnlich werden aber besondere Hülfsmittel zur Erzielung des Fludabschlusses, Stopfungen oder Liderungen genannt, benutzt. Die gebräuchlichsten Kolbenformen, ausgerüstet mit Stopfdichtung, führt Fig. 212 in schematischer Form vor Augen. a Kolben mit äusserer, b ein solcher mit innerer Stopfdichtung, Stopfung, Liderung, Packung. Die Kapsel, in vorliegender Form auch Stiefel genannt, ist hier an dem einen Ende offen, der Stempel bloss an einem Ende mit dem abzuschliessenden Fludstrang in Berührung; er heisst daher hier einfachwirkend. c und d doppeltwirkende, d. h. an beiden Seiten eine Fludsäule abschliessende Kolben, im Grunde also

*) Unsre Dampfcylinder sind ja nur uneigentlich Cylinder; als solche müssten sie doch die Eigenschaft des Rollens besitzen, die sich andrerseits bei dem Namen Kalander, einem Wort, das nur eine andere Form von „Cylinder" ist, in der wirklichen Bedeutung erhalten hat; die Franzosen nennen überdies auch heute noch die Walzen der Eisenwerke Cylinder. Beim einfachen Mann verdumpft das Wort gänzlich und unrettbar das Verständniss. Papin, der Erfinder des Dampfcylinders, nannte diesen sehr einfach „Röhre".

Vereinigungen zweier Stempel. Die Kolben unter a und c haben äussere, die unter b und d innere Packung. Erstere heissen technisch Scheibenkolben, letztere Tauchkolben oder Taucher [mit durchaus entbehrlichem und das Verständniss abstumpfendem Fremdwort auch Pluntscher (*plunger*) *)]. e Vereinigung eines

Fig. 212

Kolben



doppeltwirkenden Scheibenkolbens mit einem Tauchkolben, hier, wenn sein Durchmesser verhältnissmäfsig klein ist, Kolbenstange genannt. Man erkennt, wie stark blosse Aeusserlichkeiten bei diesen Namengebungen mitgewirkt haben und herrschen. Andere Abänderungen der Dichtungsformen können hier unerwähnt bleiben.

Hervorzuheben ist, dass in manchen Fällen die Fludsäule auch gar nicht mit einem Kolben abgeschlossen wird, und zwar namentlich da nicht, wo Flud auf Flud wirken soll. Ohne Kolbenabschluss wirken z. B. auf einander Wasser und Dampf in dem sogenannten Pulsometer, der im Grunde die wiedererweckte Savery'sche Dampfmaschine ist**), ferner Wasser und Luft in der Feuerspritze, in Someillers Luftpresser, in der Geiserpumpe, Wasser und körneriges Flud, wie wir schon oben sahen, im Strahlwerfer, S. 160, aber auch in den Setzmaschinen der Aufbereitungsanlagen, Rahm und Magermilch in der Milchschleuder, Luft und körneriges Flud in Staubtrennern im Hüttenbetrieb, auch bei gewissen Getreidepumpen usw.

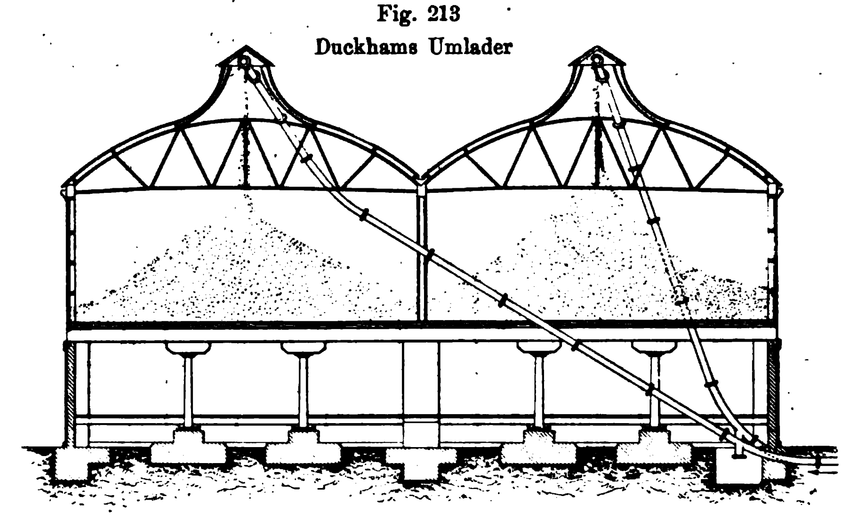
*) Wohin das führt! Man hört jetzt junge Techniker der neuesten Schule „Plunger" wie „Hunger" aussprechen; deutsch sprechen wäre doch besser.

**) Bemerkenswerth ist, dass Papin 1705 als erste Verbesserung in die Savery'sche Dampfmaschine — — — den Kolben zwischen Dampf und Wasser einschob.

Um nicht übersehen zu lassen, dass es sich hier um bedeutungsvolle, nicht etwa um nebensächliche Betriebe handelt, führe

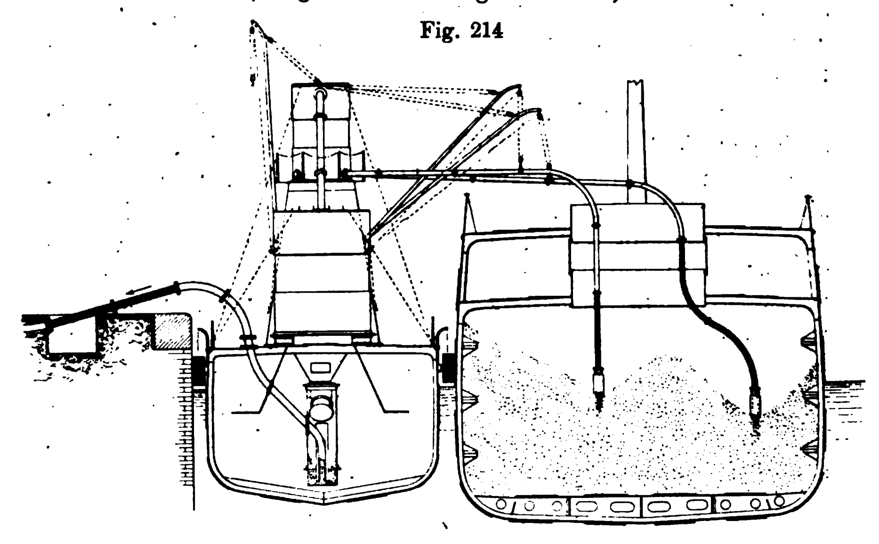
Fig. 213

Duckhams Umlader



ich als eine Ausführung jüngerer Entstehung den Duckham'schen Getreideumlader, Fig. 213 und Fig. 214 an*). Hier wird ver-

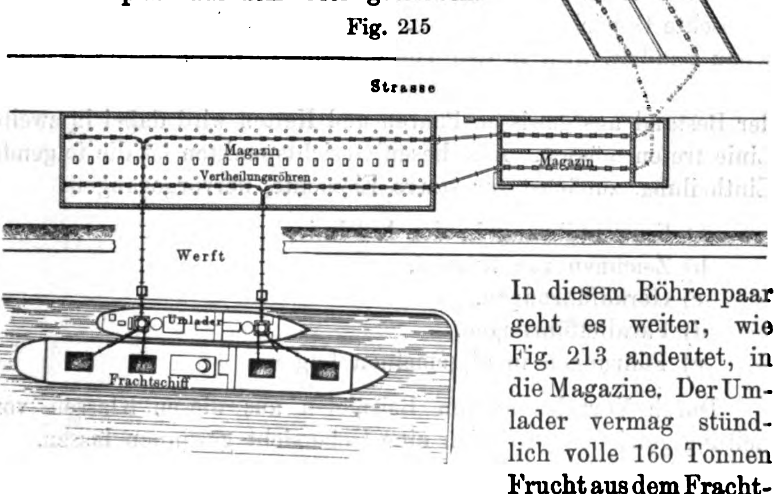
Fig. 214



*) Näheres siehe Engineer vom 19. Februar 1897. Auch die Luther-sche Maschinenfabrik in Braunschweig hat solche Getreideumlader von grosser Leistung bereits gebaut.

mittelst Luftpumpen mit Dampfbetrieb auf dem Maschinenschiff oder Umlader zuerst Luft angesaugt, dann zusammengepresst und weitergetrieben, beidemal die Körnerfrucht im Strome mitführend. Durch vier Saugschläuche wird das Korn aus dem Raum des Frachtschiffes heraufgesaugt, fällt dann in den Sammler am Boden des Maschinenschiffs und wird aus diesem durch Druckluft in ein Röhrenpaar auf dem Ufer getrieben.

Fig. 215



In diesem Röhrenpaar geht es weiter, wie Fig. 213 andeutet, in die Magazine. Der Umlader vermag stündlich volle 160 Tonnen Frucht aus dem Frachtschiff in Leichter ungewogen zu befördern. Soll zugleich gewogen werden, so kann er 100 Tonnen stündlich aus Schiff oder Leichter in die Magazine liefern. Die Anordnung letzterer am Ufer des Shannon, England, zeigt Fig. 215.

* * *

Unsre hiermit abgeschlossene kurze Ueberschau über die Bauanalyse hat gezeigt, wie ungemein weit und tief die kinematischen Paarungen und Verkettungen auch in die Bautheile der Maschine, in die Glieder der kinematischen Kette eingreifen. Dabei kommt die höchst bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit gewisser Verbindungen, sich übermäfsig schliessen zu lassen, unerwarteter Weise zu höchst nützlichen Anwendungen. Immer aber folgen diese Verbindungen ganz denselben Gesetzen, die die Elementaranalyse kennen gelehrt hatte. Die Bauanalyse schliesst sich demnach fest an die Elementaranalyse an.

§. 41

Leitung mit starren Elementen

Sehr viele Mechanismen werden in der Maschine zur blossen Leitung von Punkten, Flächen, Körpern gebraucht. Bei manchen ist die Leitung auch wohl mit Treibung und Gestaltung verbunden; praktische Rücksichten werden entscheiden, wohin man solche gemischte Getriebe zählen soll. Hier, wo es sich um eine Ueberschau handelt, wird in den Vordergrund zu treten haben, was geleitet, und in welcher allgemeinen Weise es geleitet werden soll; der Bestand aus gewissen Paaren und Ketten wird dabei in zweite Linie treten müssen. Aus diesen Gesichtspunkten ist die folgende Eintheilung, zunächst für starre Elemente, hervorgegangen:

a) Kurvenführung in der Luftlinie,
b) Zeichnen von Kurven,
c) Geradführungen,
d) Parallelführungen,
e) Führungen in allgemeinen Lagen.

Durch Vorführung von Beispielen aus diesen Klassen von Leitungsgetrieben wird sich eine Uebersicht gewinnen lassen.

§. 42

Kurvenführung in der Luftlinie

Mit niederen Paaren lassen sich Kreis, Gerade und Schraubenlinie für zahlreiche Zwecke gut als Bahnen verwirklichen. Es gibt aber viele Aufgaben, in denen z. B. Kreisbewegung mittelst derselben nicht erzwingbar ist, weil der Mittelpunkt unzugänglich ist. Das trifft z. B. zu für die Eisenbahnen, auf denen man die Fahrzeuge in den Kurven sicher geführt sehen möchte. Dass dies bei recht langen Wagen mit drehbar am Wagenboden angreifenden Truckgestellen praktisch sehr gut geht, ist bekannt. Man versucht aber immer wieder, für kurze, bloss dreiachsige Wagen die Sache auch durchzuführen; Anlass hierzu bieten namentlich die Strassenbahnen und die Schmalspurbahnen. Unter den Lösungen dieser kinematischen Aufgabe seien zunächst angeführt:

Arnoux's Eisenbahnwagen*), der wegen zu grosser Verwickeltheit seines Baues wieder ausser Gebrauch gekommen ist, und Cleminssons „biegsamer Wagen", der u. a. auf australischen und neu-

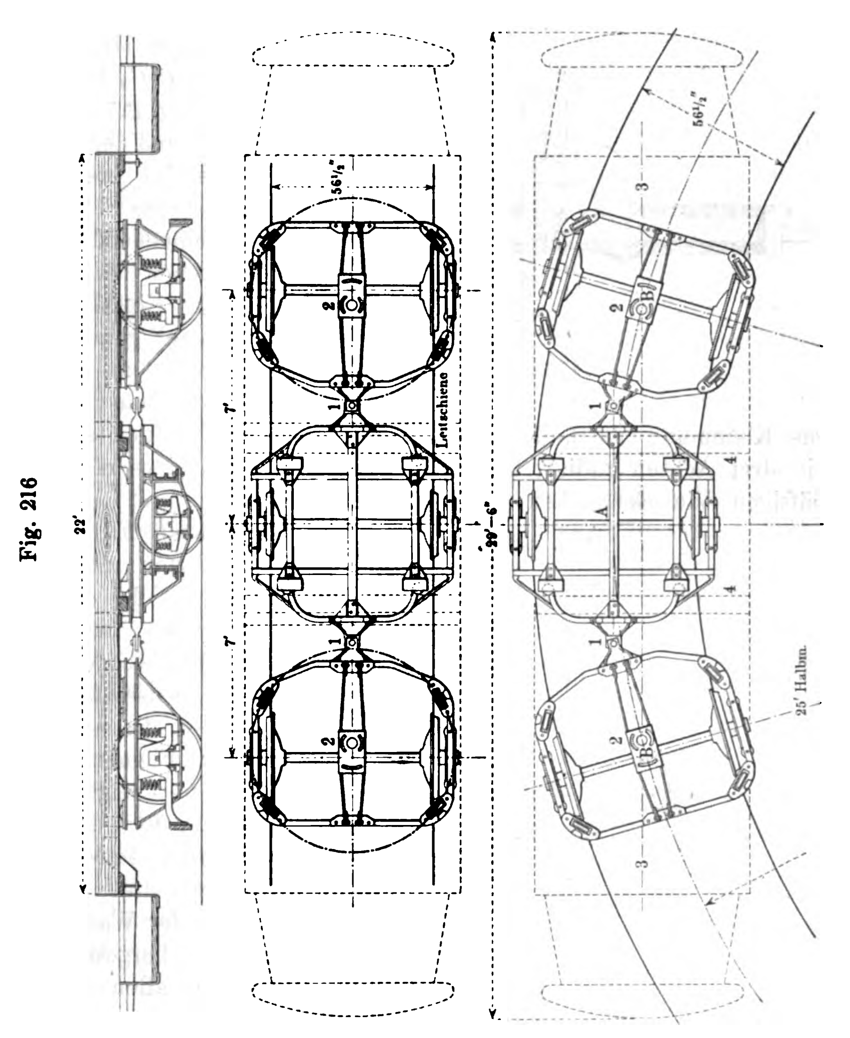


Fig. 216

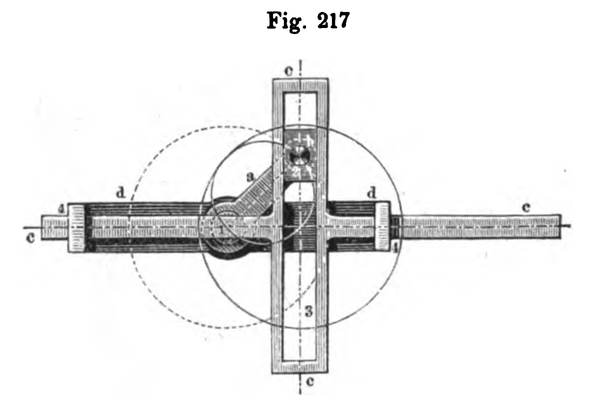
seeländischen Bahnen von schmaler Spur in bewährtem Gebrauch ist. Er hat grosse Aehnlichkeit mit den Wagen der Bostoner Strassenbahn, deren Untergestell Fig. 216 nach Engineering**)

*) Civilingenieur VI (1863), S. 463.

**) Engineering (London) 1895, Juni, S. 753.

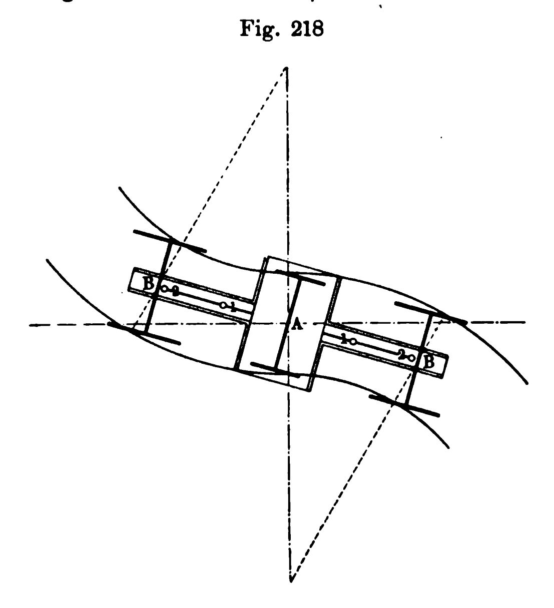
darstellt. Der Wagenkasten ist gegen das Mittelgestell in der Richtung der Achse geradgeführt, die Zapfenhülsen bei 2 desgleichen gegen den Wagenkasten parallel dessen Längsachse.

Fig. 217



Dies ergibt zweimal den Mechanismus $(C_2'' P_2^{\perp})^d$, den Fig. 217 darstellt und der bereits im ersten Bande auf S. 313 u. f. eingehend besprochen wurde. Beim Einfahren aus der geraden Strecke in die Kurve muss etwas Klemmung stattfinden, in der Kurve dagegen stellen sich die drei Achsen radial, da sie quer zu den Seiten eines regelmäfsigen Vielecks stehen, weil $1.A = 1.B$.

Fig. 218



Dawson an der angeführten Stelle wundert sich, dass der Wagen nur in S-Kurven leicht entgleise. Unsre Analyse — diesesmal wieder Elementaranalyse — zeigt indessen sofort, dass die starre schwere Kreuzschleife, als welche der Wagenkasten hergestellt ist, an allen drei Leitstellen, zumeist aber vorn, siehe Fig. 218, auf Entgleisung wirkt.

In Deutschland hat Klose den dreiachsigen Eisenbahnwagen mit einem sehr wirksamen Mechanismus zum Radialstellen

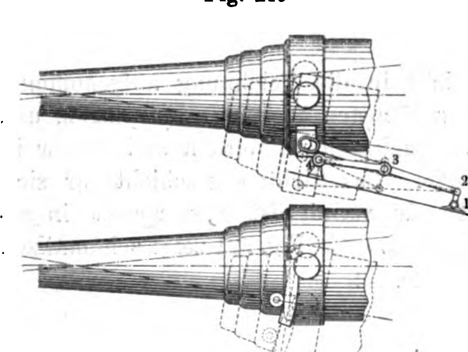
aller drei Achsen versehen; er hat verschiedene Bauarten angegeben und in den praktischen Dienst eingeführt*).

Grover hat am zweiachsigen Eisenbahnwagen die Radialstellung der Achsen mittelst zweier kinematischen Ketten von der Form (C''_4) bewirkt. Seinen Wagen nennt er ebenfalls einen „biegsamen"; der Radstand an demselben beträgt 13,75′ oder 4,2 m.

Eine andere Aufgabe verwandter Art ist die der Lokomotiv-Tender-Kupplung, indem es sich auch hier darum handelt, den Tender in dem Kreise, den die Bahnkurve vorschreibt, zu führen trotz der Schlingerbewegungen der Lokomotive. Die Aufgabe ist in mehreren Formen und auf Grund eingehender kinematischer Betrachtungen musterhaft gelöst worden durch den königlichen Regierungsbaumeister, jetzt Professor W. Hartmann**).

Eine Anzahl Getriebe zur Leitung um einen als unzugänglich betrachteten Punkt haben die Kanonen für sogenannte Minimalscharten, oder wie man sie auch nennen kann: Engscharten an Schiffspanzern und Panzerthürmen gezeitigt. Erwähnt seien: Shaws Geschütz***), Czadeks, Mallets und Heathons Geschütze †). Als Beispiel sei in den nebenstehenden Figuren nach Engineer der Mechanismus von Mallets Geschütz vorgeführt; er bewirkt die Einstellung des Geschützlaufes durch eine Viercylinderkette (C''_4).

Fig. 219



Eine vollständige Lösung der schwierigen Aufgabe hat Gruson in seinem Panzerthurm-Geschütz DRP 14679, das Fig. 220 darstellt, geliefert ††). Der Mechanismus ist von grosser Einfachheit.

---

*) S. Glasers Annalen für Bauwesen, Bd. VII, S. 27.

**) S. W. Hartmann, Theorie der Lokomotiv-Tender-Kupplungen, Berlin, Ernst und Korn, 1884.

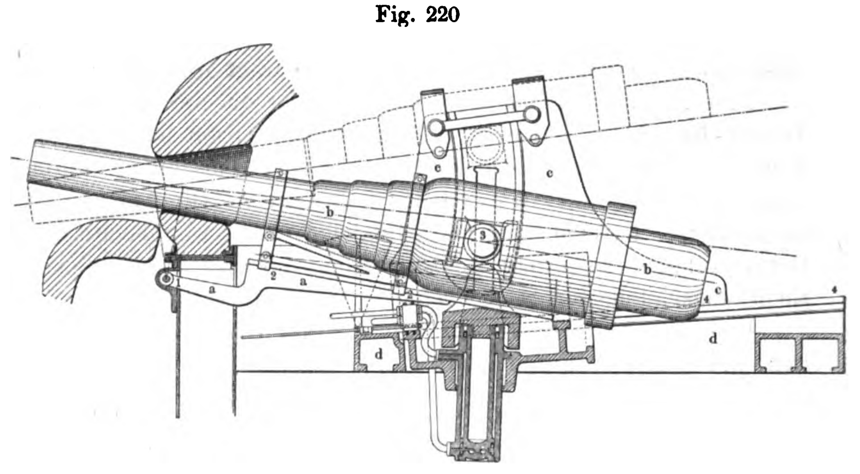
***) Pract. Mechanics Journal XVII (1864—65), S. 115.

†) Beschrieben Engineer 1868, S. 185, 203 und 281.

††) S. auch Gustav v. Schütz, Hartgusspanzerungen und Minimalscharten Laffetten, Magdeburg 1890, Blatt VI.

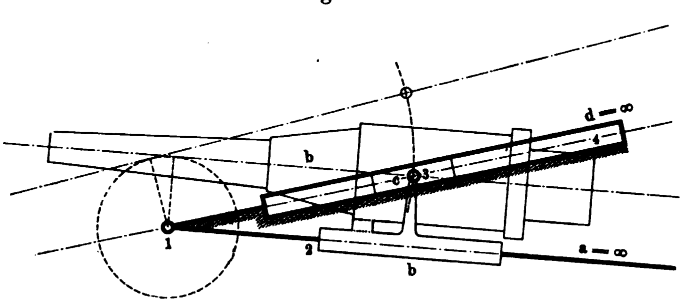
Gruson benutzt den Rückstoss beim Schuss, um die Laffette auf schräger Bahn rückwärts hinaufgleiten zu lassen. Hierbei tritt das Mundstück bis tief in die Scharte zurück. Die Laffette, von

Fig. 220



einer Wasserbremse, die nicht in die Zeichnung aufgenommen ist, verzögert, wird in ihrer höchsten Stellung aufgefangen, um, nachdem geladen worden, losgelassen zu werden und wieder in die Feuerstellung auszurennen. Das Richten geschieht für sich durch Einstellen der Schildzapfen vermittelst Wasserpresse in geeigneter Höhe in einem Kreisringbogen. Fig. 221 zeigt schematisch

Fig. 221



den Ausrennmechanismus. Er ist eine besondere Form, in die die Viercylinderkette (C_4'') dadurch gebracht werden kann, dass man die Glieder a und d unendlich gross macht, d. h. ihnen einen unendlich grossen Halbmesser gibt. Das Rohr gehört dem Gliede b an. Die kinematische Formel des Getriebes hat folgenden Wortlaut:

$$C^+ \cdots + \cdots (P) \cdots \perp \cdots (C) \cdots + \cdots (P) \cdots \perp \cdots C^-_=$$
$$1 \quad a \quad 2 \quad b \quad 3 \quad c \quad 4 \quad d \quad 1$$

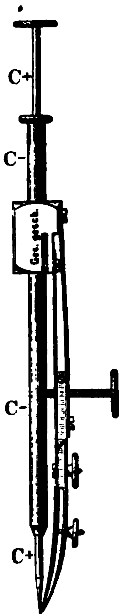
oder in zusammengezogener Schreibung $(CP^+ CP^\perp)^d$. Das Zeichen + bedeutet „geschränkt“, vergl. Band I, S. 322. Es zeigt sich hier, wie wichtig es war, in Band I bei der Elementaranalyse des Viercylindergetriebes dessen sämmtliche Formen zu ermitteln; die vorstehende Formel wurde daselbst entwickelt, während das Getriebe selbst damals noch nicht in der Praxis zu finden war. Die Bewegung der Laffette findet so statt, dass die Rohrachse einen aus 1 beschriebenen Kreisbogen stets berührt, also nicht sowohl durch einen festen Punkt geht, als in unveränderlichem, geringem Abstand von einem solchen verbleibt.

§. 43

Kurvenzeichner

Wenn wir mittelst des Zirkels Kreise auf Papier ziehen, so bildet der „feste“ Zirkelfuss das Element C^+ aus einem Paare $C^\pm_= C^-$, eine Bohrung im Papier das Element C^-. Soll die Annäherung an dieses Paar einigermafsen befriedigend und dauernd sein, so geben wir dem festen Zirkelbein den Nadelfuss. Kraftschluss und Senkrechthaltung der Nadel sind dabei noch wichtig; denn selbst bei geringer Schiefe wühlt die Nadel schon eine trichterförmige Grube ins Papier, die bei kleinem Kreishalbmesser die Genauigkeit schon sehr in Frage stellt. Für ganz kleine Kreislein oder „Nullen“ stellen wir uns deshalb das Cylinderpaar (C) oberhalb des Blattes recht vollständig her, wie in dem sogenannten Fallzirkel, Fig. 222, geschieht. Den positiven Cylinder C^+ desselben setzen wir vermöge seiner Zuspitzung recht genau an die richtige Stelle und wirbeln dann C^- nebst Anhang um C^+ herum. Der dargestellte Fallzirkel von Richter (in Chemnitz) hält vermöge der Zusammensetzung seines Armes aus zwei Blattfedern die Ziehfeder stets nahezu gleichwinklig zum Papier. Leichter Kraftschluss, hervorgebracht durch das Gewicht des dreh- und verschiebbaren Zirkeltheiles, hält die zeichnende Spitze auf dem Papier. Diese bekannten

Fig. 222 Richter'scher Fallzirkel

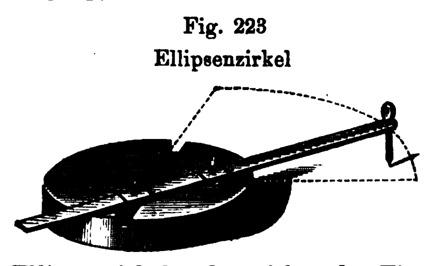


Dinge führe ich nur an, um hervorzuheben, wie wir uns hier in zunehmendem Maſse der kinematischen Strenge in der Paarbildung befleissigen, je genauer wir zu arbeiten wünschen.

Höhere Kurven ziehen wir vielfach mit Blei und mit Ziehfeder am Kurvenlineal, d. h. auf kinematisch: unter kraftschlüssigem Anlegen der Schreibspitze an die, in der Kurvenform hergestellte, oder strenger einen Zeilzug *) derselben vorstellende Schmiege **).

Eine viel umworbene Aufgabe ist die des Ellipsenzirkels. Aus unsren früheren Untersuchungen ist an sich klar, dass derselbe sich nicht als niederes Paar herstellen lässt, dass also mindestens zu einem höheren Paar, oder aber zu einer kinematischen Kette gegriffen werden muss. Die Ausführungen, zu denen man gelangt ist, gründen sich allermeist auf die Erzeugung der Ellipse als Hypocykloide im kardanischen Kreispaare (vergl. S. 19, 51 und 60). Eine ziemlich derbe Form des darauf beruhenden Ellipsenzeichners wurde schon im ersten Band S. 318 besprochen. Sie ist hier wieder abgebildet; gewonnen ist sie aus der Kette $(C''_2 P\frac{\perp}{2})$ unter Feststellung der Kreuzschleife *c* in Fig. 217. Viele haben sich bemüht, diese Form des Ellipsenzirkels so sorgfältig und genau herzustellen, wie es für den Gebrauch auf dem Zeichenbrett des Ingenieurs erforderlich sein möchte. Völlig gelungen ist dies erst in dem trefflichen Riefler'schen Ellipsenzirkel, den folgende Figur perspektivisch darstellt ***). Der eine Schenkel der Kreuzschleife *c* ist nur halb ausgeführt. Nach Verzeichnung der einen Hälfte der Ellipse wird der Zirkel um 180° gewendet, zu welchem Ende Hülfsspitzen vorgesehen sind, und dann die andere Hälfte gezeichnet. Die Ellipse entsteht als „äussere", vergl. S. 20, wird mithin als verlängerte Hypocykloide im Kardankreispaar erzeugt.

Fig. 223
Ellipsenzirkel



---

*) Siehe S. 57 und vergl. S. 78 ff. wegen des Zeichnens auf die Tafel.

**) Die Rieflerschen Reisszeuge enthalten eine treffliche Schleppfeder, die sich besonders gut zum Hinführen an der Schmiege eignet.

***) Herr Ingenieur Siegmund Riefler ist wegen seiner hervorragenden Verdienste um die praktische Mathematik (Zeichenkunst und Zeitmessung) von der Universität München zum Ehrendoktor ernannt worden.

Aus demselben Polbahnenpaar werden hypocyklisch erzeugt die Ellipsen bei:

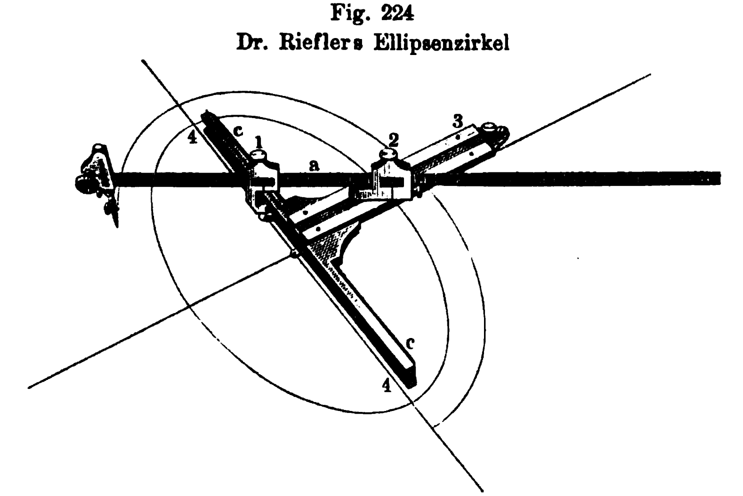
Saladins Ellipsenzirkel *), beschreibt nur äussere Ellipsen,

Suardis sog. geometrischer Feder **),
Hamann & Hempels Ellipsenzirkel ***),
Baumanns Ellipsenzirkel †),
Slabys Ellipsenzirkel ††),
} beschreiben äussere oder innere Ellipsen.

Die ersten drei Bauarten verwirklichen die Rollung der Kardankreise durch Verzahnungen, die letzten zwei durch Kettchen- und Schnurtrieb. Ein älterer vorzüglicher Ellipsenzirkel ist der von Farey, dem Zeitgenossen Watts; dieser Zirkel ist durch „Glied-

Fig. 224

Dr. Rieflers Ellipsenzirkel



verminderung", vergl. Bd. I, S. 333, aus der Kette $(C_2'' P_2^{\perp})$ gebildet †††). Er theilt mit den vorigen den kleinen Uebelstand, dass die Gerade a zwischen den Kardinalpunkten nicht Normale zur Ellipse ist, demnach die Ziehfeder nur an den genannten vier Punkten ganz genau zugrecht steht.

*) Bulletin von Mülhausen 1843, S. 190.

**) Laboulaye Cinématique, S. 559.

***) Brevets d'invention 1845, S. 231.

†) Im kinematischen Kabinet der K. Techn. Hochschule zu Berlin.

††) Berliner Verhandlungen 1876, S. 327.

†††) Vergl. Rittershaus: Ueber Ellipsographen, Berl. Verhandlungen 1874, S. 269, aber auch schon: Adams, Geometrical and graphical essays 1791, sowie Transactions of the Soc. of encour. of manufactures, Bd. 35, 1812, S. 118.

Letzteres ist der Fall bei dem Ellipsenzirkel von Seestern-Pauly*), der aus den Antiparallelkurbeln gebildet ist. Die Vorrichtung ist indessen viel zu gliederreich — sie enthält nicht weniger als 11 Elementenpaare —, um nicht durch Reibung fast völlig ungangbar zu werden, wenn sie einigermaſsen genau ausgeführt werden soll.

Von Ollivier, dann Baradelle und von Meyn**) und von noch Andern wurde versucht, den Ellipsenzirkel so zu bauen, dass der Zeichenstift der Kante eines Kegels nachgeht, dessen Achse schief zur Zeichenfläche gestellt wurde; auch hier wurde die Reibung ein unübersteigliches Hinderniss; von noch andern Bauarten gilt Aehnliches. Einen Ovalzeichner, der die Ellipse annähert und unter Umständen in sie übergeht, hat Düstersiek gebaut***). Hier möchte ich bemerken, dass das Bedürfniss nach dem Ellipsenzirkel nicht so gross ist, wie gemeiniglich von denjenigen angenommen wird, die sich um dessen Bau bemühen, was oft mit ganz besonderem Eifer geschehen ist und ungleich grössere Opfer an Zeit und Mitteln erfordert hat, als gerechtfertigt ist.

Die Cykloiden haben auch zu mancherlei Versuchen, sie durch Zeichengeräth genau herzustellen, Anlass gegeben. Auch hier wird das Bedürfniss überschätzt. Vorhanden ist ein solches zwar bezüglich der Zahnräder, aber nicht für das Zeichenbrett, wo Annäherungen genügen, sondern für die feine mechanische Werkstatt zum Einritzen der Kurven in Messingplatten, die als Schablonen für Fräsen ausgearbeitet werden sollen. Hier ist die genaue Kurve durchaus empfehlenswerth, weil die werthvolle Fräse ungefähr ebensoviel Arbeit kostet, ob sie genau oder nur grob angenähert die Form wiedergibt. Geht man aber ernstlich ein auf hierfür geeignete Cykloidenreisser, so gelangt man bald dazu, dass man nur mit einer kräftig gebauten, nämlich alle Ausbiegungen ausschliessenden maschinenähnlichen Geräthschaft ausreicht. Zwei solche hat der Verfasser besprochen in seinen „Mittheilungen über die amerikanische Maschinen-Industrie“ †).

Mancherlei andere Kurvenzeichner hat man hie und da ent-

---

*) Civilingenieur 1862, S. 251.

**) Ebenda, S. 247.

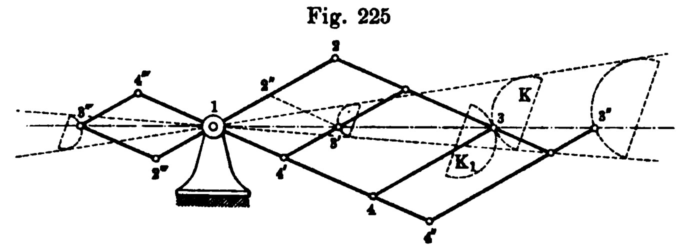
***) Ausführung im kinematischen Kabinet der K. Techn. Hochschule zu Berlin.

†) S. Berliner Verhandlungen 1894, S. 244.

worfen. Als hervorragende Veröffentlichungen in dieser Beziehung sind die von Mac Cord zu bezeichnen*). In denselben gibt er bei Gelegenheit der Ellipsenzeichner alsbald zwei Mittel an, den Ziehfederspalt (bezw. also auch eine Schneide) der Tangente der Ellipse nach zu leiten.

Der Storchschnabel findet ausserordentlich viele Anwendungen zum Kurvenzeichnen. In seiner gebräuchlichsten Form ist er ein aus (C''_4)-Ketten gebildetes Getriebe, mittelst dessen man von einer gegebenen Kurvenbewegung eine geometrisch ähnliche ableitet. Die von 1 in der (C''_4)-Kette 1. 2. 3. 4 Fig. 225

Fig. 225



ausgehenden, ihr ähnlichen und parallelen (C''_4)-Ketten beschreiben mit ihren Eckpunkten 3′, 3″ und 3‴ ähnliche Kurven wie Punkt 3. Ich nenne einen Storchschnabel von der Einrichtung:

3′ einen solchen 1ter Art,

3″ „ „ 2ter Art,

3‴ „ „ 3ter Art.

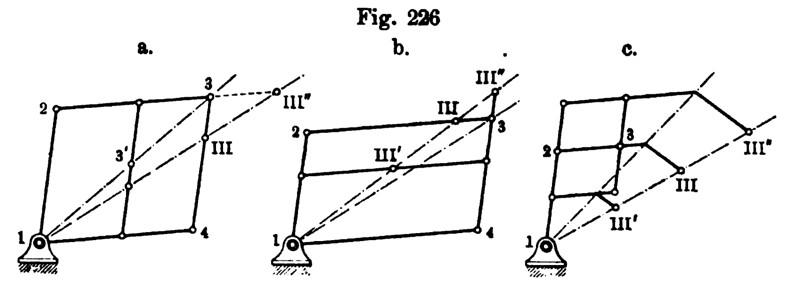
Die erste gibt die Kurve K verkleinert, die zweite vergrössert, die dritte nicht, wie man wohl sagen hört, das Spiegelbild, sondern das umgewendete, nämlich um 180° in seiner Ebene gedrehte Bild wieder; s. bei K_1. Die Aehnlichkeitspunkte liegen auf der durch 1 gehenden Diagonalen, die wir die Hauptdiagonale oder Gehre des Storchschnabels nennen wollen. Wo die als Geraden betrachteten „Parallelstäbe" die Gehre schneiden, besitzen sie Aehnlichkeitspunkte, sodass man auch diese Stäbe benutzen und dafür die zu 2.3 parallelen Glieder weglassen kann.

---

*) S. Scientific American Supplement: 1887, S. 9160 (Lemniskate), S. 9503 (Cyklonoide); 1889, S. 11233 (Sinoide), S. 11277 (Orthocykloide), S. 11324 (Hyperbel), S. 11659 (Hexe); 1890, S. 12112 (Cissoide und Verwandte), S. 12268 (Quadratrix); 1891, S. 12721 (harmonische Polare); 1892, S. 13644 (Ellipse) und S. 14125 (Konchoide).

Allerlei Einzelfälle sind noch dem Getriebe abzugewinnen. So kann man z. B. statt der Gehre 1.3 in Fig. 226 a wie b eine andere 1.III wählen, worauf deren Schnittpunkte mit den (als

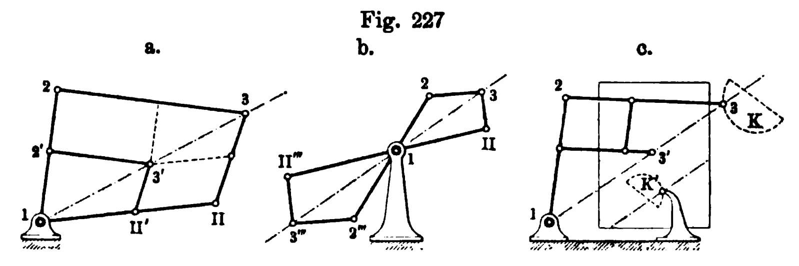
Fig. 226



Geraden angedeuteten) Parallelstäben lauter Punkte von ähnlichen Bahnen ergeben. Auch ausserhalb der geraden Verbindungslinien der Gelenkpunkte liegen, wenn ähnlich geordnet, wie Fig. 226 c zeigt, ähnlich schreibende Punkte. Wir sehen also, dass alle ähnlich gelegenen Punkte der mit den Parallelstäben fest verbundenen Ebenen, die zur Schreibfläche parallel liegen, ähnliche Bahnen durchlaufen. Dies scheint bisher technisch unbeachtet geblieben zu sein; für die Anfertigung des Zeichengeräths ist es wichtig.

Zwei Storchschnäbel verbunden und durch Weglassung des punktirten Gliedes, Fig. 227, demnach auf sechs Stäbe gebracht,

Fig. 227



zeigt diese Figur unter a und b. Es sind in beiden Fällen zwei halbe Storchschnäbel, kann man sagen, vereinigt, weshalb man das Ganze einen zweifach hälftigen oder **zwiehälftigen Storchschnabel** nennen kann. Ein solcher kann werthvoll sein, vergl. S. 301. Lässt man in einem gewöhnlichen Storchschnabel den Punkt 3', Fig. 227 c, statt eines Stiftes eine neue Schreibfläche bewegen, und zwar so, dass deren Ränder stets parallele Lagen behalten, so zeichnet ein fester Schreibstift die Kurve K umgewendet auf die bewegliche Ebene, s. bei K'.

Die Anwendungen des Storchschnabels, der sich noch in mehrere andere Formen bringen lässt, sind sehr zahlreich und nützlich, namentlich in erster Linie in den Druckgewerben, wo derselbe in sehr feinen Ausführungen gebraucht wird, sodann bei den Stickmaschinen (s. unten), den Zierstichnähmaschinen usw.; auf andere Anwendungen kommen wir später zurück. Mechanismen zur Kurvenführung leisten ferner wichtige Dienste in den Feinmetallgewerben, z. B. bei den Guillochirmaschinen, in den Reliefzeichenmaschinen von Dondorf, von Wagner und von Smyth, in der Gravirmaschine von Schmid in Zürich usw.; für die nähere Besprechung aller fehlt hier der Raum.

Auf die *Gestaltung von Körpern nach Profilkurven*, die wir oben schon streiften (S. 226), kann erst später eingegangen werden.

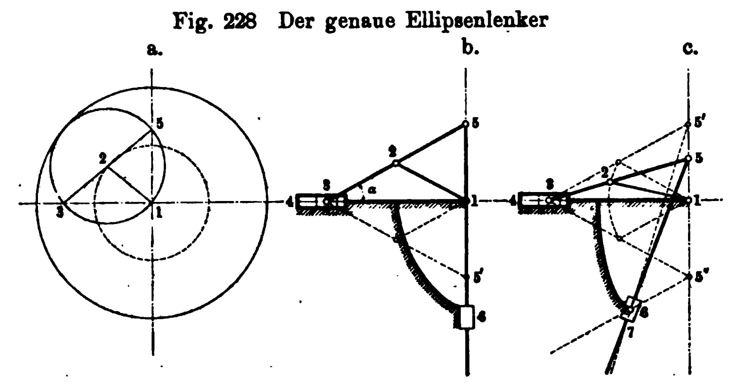
§. 44

Geradführungen

Die Mechanismen für Geradführung sind Einzelfälle der Kurvenführungsgetriebe; verdienen aber wegen ihrer besonderen Zwecke für sich zusammengefasst zu werden, zumal sie recht zahlreich sind.

A. *Ellipsenlenker.* Im Kardankreispaar, Fig. 228 a, beschreibt, wie wir aus §. 14 wissen, jeder Umfangspunkt des kleinen

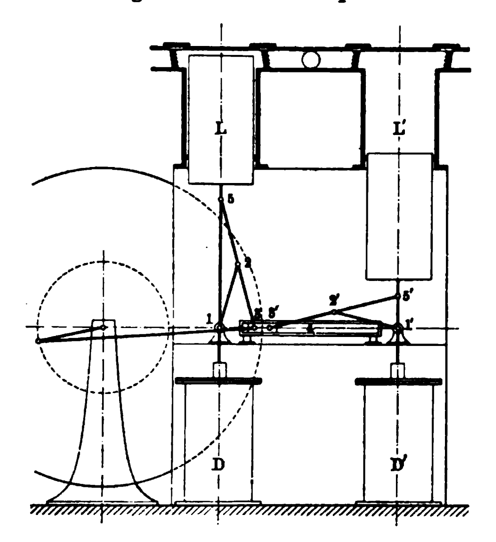
Fig. 228 Der genaue Ellipsenlenker



Kardankreises gegen den grossen eine geradlinige Ellipse als gemeine mittlere Hypocykloide. Wenn wir daher zwei gegenüberliegende Umfangspunkte 3 und 5 beispielsweise herausheben, den

Punkt 3 mittelst einer kurzen Schleife gerade, und den Mittelpunkt 2 um die Mitte 1 des grossen Kreises im Kreise führen, so erhalten wir den von mir so benannten genauen Ellipsenlenker, Fig. 228 b. Er ist, wie man sofort erkennt, aus der Kette $(C''_3 P^{\perp})$ unter Gleichsetzung von a und b gebildet. Den Ausschlagwinkel α wählt man kleiner als 90, meist nicht grösser als 30°, damit die Schleife 4 nicht unbequem lang ausfalle. Hängt man bei 5 noch eine Stange $C^{-} \ldots \perp \ldots P^{+}$ an, die man bei 6 so führt, dass die Achse des Prismas P^{+} durch Punkt 5 und rechtwinklig zu 1.3 geht, so wird der ganze Stab 5.6 gerade geführt. Genauer gesprochen ist, da ein Prisma keine eigentliche Achse wie ein Drehkörper besitzt, die Sache so zu machen, dass die Kanten des Prismas P^{+} rechtwinklig zu der Geraden 1.3 oder parallel zur geraden Bahn fallen. Die Führung bei 6 kann man, um kleine Ungenauigkeiten auszugleichen, auch so ausführen, dass die Hülse 6 um eine Querachse 7 drehbar gelagert wird. In Fig. 228 c ist dies angenommen, die Querachse 7 aber weit aus der Geraden 5′ 5″ herausgerückt. Nun beschreibt nach wie vor der Punkt 5 eine Gerade, die angehängte Stange aber Konchoiden (s. unten Fig. 239), woraus deutlich hervorgeht, wie bestimmt man die Geradführung eines Punktes von der eines Stabes zu unterscheiden hat; selbst ein ganz kleiner Fehler in der Aufstellung von 7 kann die Geradführung des Stabes völlig aufheben, während diejenige eines seiner Punkte sehr genau sein kann.

Fig. 229 Owens Luftpresser



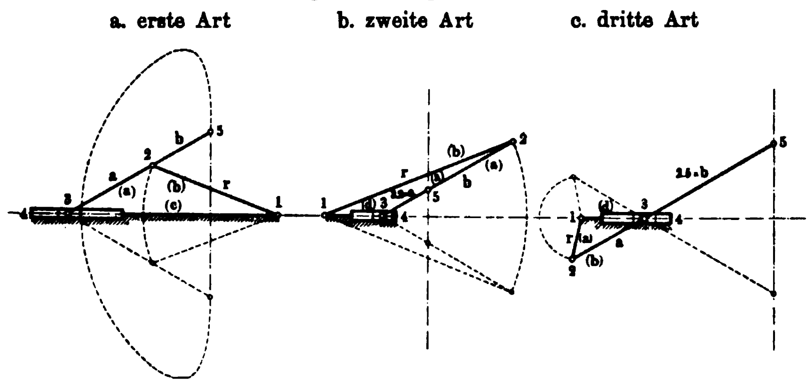
Eine hübsche Anwendung des voll ausgebildeten genauen Ellipsenlenkers zeigt der Owen'sche Luftpresser*), der in

*) S. Engineering 1881, Mai, S. 484.

Fig. 229 skizzirt ist. Hier dient ein Kurbelgetriebe $(C_3''P^{\perp})^d$ zur Spielbegrenzung der beiden vereinigten Ellipsenlenker, denen zugleich ein ungewöhnlich grosser Ausschlag gegeben ist, um die Luftkolben L und L' gegen Ende ihres Aufwärtsweges zu verlangsamen (vergl. Fig. 140).

Angenäherte Ellipsenlenker erhält man, wenn man den Punkt 2 nicht auf die Mitte von 3.5 legt. Fig. 230 stellt die drei sich ergebenden Ausführungsarten dar. Der Theil 3.5 heisst der Hauptlenker, der Arm 1.2 der Gegenlenker. Der

Fig. 230 Ellipsenlenker



Kreisbogen, den der Gegenlenkerpunkt 2 beschreibt, nähert eine Ellipse nur an; am wenigsten genau gelingt dies bei der dritten Art, Fig. 230 c, da hier das spitze Ende der Ellipse mit seiner rasch wechselnden Krümmung anzunähern wäre; weitaus am brauchbarsten ist die erste Art. Die beigefügten Buchstaben sind geeignet für den Lenkeraufbau, die kinematischen Gliedbezeichnungen sind in Klammern beigefügt. Die Kurve, die der annähernd geradgeführte Punkt durchlaufen würde, wenn man das Getriebe sein ganzes Spiel vollziehen liesse, ist bei dem wichtigen Lenker erster Art eingetragen.

Es fragt sich nun, wie wir die vorliegenden vier Geradführungen kinematisch kurz zu erklären haben. Dies geschieht dahin, dass die von Punkt 5 beschriebenen Kurven Rollzüge der Polbahnen der hier vorliegenden kinematischen Kette $(C_3''P^{\perp})$ sind. Diese schon einigemal erwähnten Polbahnen (vergl. S. 171 ff.) sind im (C_4'')-Getriebe die Schnittpunktfolgen von vier Geraden, die sich mit bestimmten Punkten auf Kreisen, „Cyklen“, bewegen. Ich habe deshalb seiner Zeit vor-

geschlagen, diese Kurven Cyklonen, Einzahl die Cyklone, zu nennen; ihre Punktbahnen werden dann Cyklonoiden zu heissen haben. Betrachtet man die geradlinigen Bahnen in $(C''_3 P^{\perp})$ und $(C''_3 P\dagger)$ usw. als Kreise von unendlichem Halbmesser, so passt der Name Cyklone auf alle Polbahnen der (C''_4)-Kette. Bei der Kette $(C''_3 P^{\perp})$, die wir vor uns haben, fallen die Cyklonen gleichseitig zu einer durch sie gehenden Achse aus. Wir erhalten dabei für die Kette zwei Cyklonenpaare, nämlich eines zu den Gliedern *b* und *d*, Koppel und Lenkstab, und das andere zu den Gliedern *a* und *c*, Kurbel und Schieber.

Fig. 231

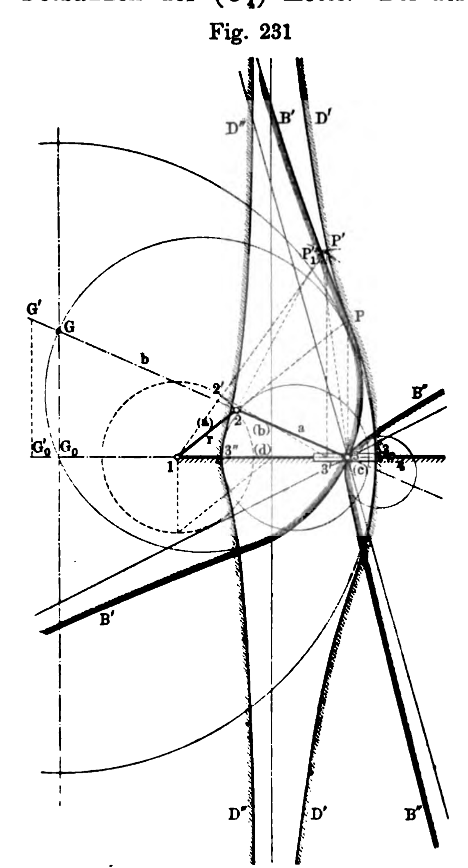


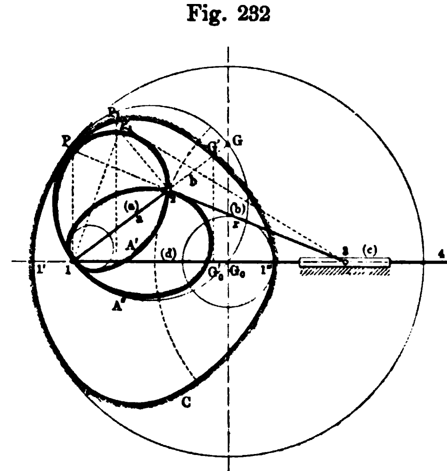
Fig. 231 stellt das Polbahnen- oder Cyklonenpaar für die Glieder *b* und *d*, bezeichnet mit den Grossbuchstaben *B* und *D*, dar. Die Cyklone *D* besteht aus zwei Theilen *D'* und *D''* mit unendlich langen Aesten, dazwischen eine Asymptote, die der rechtwinkligen Kurbelstellung entspricht. Die Cyklone *B* erhält eine zweitheilige becherförmige Gestalt *B'B''* mit Asymptotenkreuz. Die Auffindungsweise des Poles *P* der beiden Kurven für die gezeichnete Stellung ist eingetragen, desgleichen die für einen Pol *P'* in der Cyklone *D'*, gefunden durch Verlängerung von 1.2 bis zum Schnitte mit der Senkrechten zur Bahn des Punktes 3. Die zweite Polbahn, *B'*, könnte man, nachdem man sich *b* als stillstehend, *d* als beweglich gedacht, in derselben Art punktweise auftragen. Hier habe ich aber die von mir*) angegebene

*) Im ersten Bande S. 69 und 70.

„Verzeichnung durch Zurücktragung" angewandt. Es ist nämlich für die Auffindung des Poles P_1' aus Punkt 3 ein Kreis mit $3'P'$ und aus 2 ein solcher mit $2'P'$ geschlagen; der Schnittpunkt P_1' ist der gesuchte, beim Rollen mit P' zusammentreffende Pol.

Fig. 232 zeigt das zweite Cyklonenpaar, dasjenige zur Kurbel a und dem Schieber c, bezeichnet mit A und C. Die Aufsuchung der Pole geschieht ganz ähnlich wie vorhin, indem man hier den Schieber c als stillstehend annimmt; die Verlängerung der 3.2 bis zum Schnitte mit der Senkrechten in 1 zur Schubrichtung 1.3 liefert für jede Stellung einen Pol P, P' usw. Die Punkte P_1' usw. sind wieder durch Zurücktragung ermittelt.

Fig. 232



Die Gleichungen für die vier Kurven sind sehr verwickelt *) und leisten für die vorliegende Aufgabe kaum irgend welche praktischen Dienste. Dagegen sind die Kurven selbst sehr beachtenswerth und geben Aufschlüsse, die nicht nur für den Kinematiker, sondern selbst für den ausübenden Konstrukteur von besonderem Werth sind. Es lässt sich nämlich zeigen **), dass in den auf den Hauptachsen liegenden Scheiteln der zwei Cyklonenpaare die Krümmungskreise alle viermal karda-

---

*) Z. B. lautet die Gleichung der Cyklone D für rechtwinklige Koordinaten zur Achse 1...3... von 1 aus:

$$(x^2 + y^2)(x^2 + a^2 - b^2)^2 = 4a^2x^4,$$

und für die Cyklone B für ebenfalls rechtwinklige Koordinaten zur Achse 2.3 von 2 aus:

$$4b^4(x^2 + y^2)y^4 = a^2[(x^2 + y^2)^2 + a^2x^2]^2.$$

Vergl. Schell, Theorie der Bewegung und der Kräfte, Leipzig 1870, S. 40 ff.

**) Vergl. Wilh. Hartmann, Theorie der Lokomotiv-Tender-Kupplungen, Berlin, Ernst und Korn, 1884, worin diese Kupplungen eine ausgezeichnet lehrreiche und für die Praxis des Lokomotivbetriebs sehr werthvolle Behandlung erfahren haben.

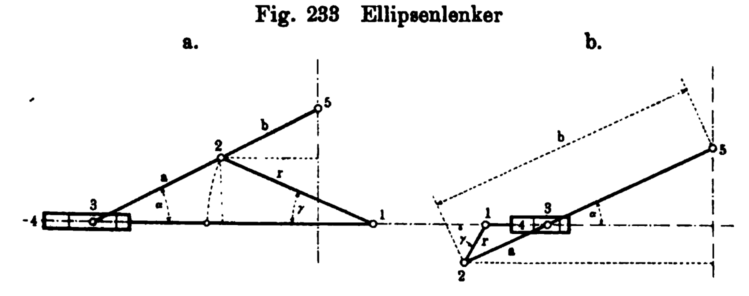
nische Kreise sind (vergl. S. 19, 51, 60). Hieraus erklärt sich sofort die Möglichkeit, Punkte im Hauptlenker zu ermitteln, die nahezu gerade Bahnstücke durchlaufen. Sodann führt dieselbe Betrachtung schnell zu Formeln für die Längen des Haupt- und des Gegenlenkers.

Die Grösse der Kardankreise in den vier Fällen bestimmt sich wie folgt, wobei die Buchstaben wieder so angewandt sein mögen, wie es für die Lenker passt. Da muss denn sein gemäfs den aus Fig. 235 a erkennbaren Beziehungen: $r(1 - \cos\gamma) = b(1 - \cos\alpha)$, woraus $b : r = \sin\frac{\gamma^2}{2} : \sin\frac{\alpha^2}{2}$. Ausserdem ist $a \sin\alpha = r \sin\gamma$. Beim Uebergang der beiden Winkel in Null folgt hieraus:

$$b = \frac{a^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

a ist also die mittlere Proportionale zwischen b und r, was eine zeichnerische Aufsuchung von grösster Leichtigkeit ergibt. Für

Fig. 233 Ellipsenlenker



den Halbmesser des grossen Kardankreises hat man sodann, da Punkt 5 dem Durchmesser desselben theilweis nachgeht,

$$R_1 = a + b = a + \frac{a^2}{r} \quad \ldots\ldots \quad (32)$$

Für die Krümmungen an den spitzen Enden der vier Cyklonen wird der Werth a, wie in Fig. 233 b erkennbar, negativ.

1. Beispiel. Für $r = 20$ und $a = 32$ cm, welche Verhältnisse in Fig. 231 in verkleinertem Mafsstab angewandt sind und woselbst die Gliedernamen des Kurbelgetriebes eingeklammert stehen, erhalten wir $b = 32^2 : 20 = 51{,}2$ cm und $R_1 = G_0 . 3_0 = 32 + 51{,}2 = 83{,}2$ cm. Der Punkt G, den die Krümmungskreise, wenn sie Polbahnen wären, nach $G_0 \ldots$ genau gerade führen würden, ist eingetragen; der Abstand von 2 bis G ist der Werth b. Wie nahe die Krümmungskreise um die Scheitel herum bei den Cyklonen liegen, lehrt die Zeichnung. Für das zweite Scheitelpaar, dessen Berührung bei $3''$ erfolgt, hat man $R_1 = b - a = 51{,}2 - 32$ cm, wovon die Hälfte der Halbmesser des kleinen Kardankreises für die Stelle 3 der Kurve B'' ist.

2. Beispiel. Für $r = 32$ und $a = 20$ cm, welches Verhältniss in Fig. 232 gewählt ist, und wo auch die Gliedernamen des Kurbelgetriebes wieder durch Einklammerung unterschieden sind, erhalten wir $b = 400 : 32 = 12{,}5$ cm und $R_1 = a + b = 1 . G = 20 + 12{,}5 = 32{,}5$ cm, sowie für das andere Scheitelpaar der Cyklonen A' und C: $R_1 = 20 - 12{,}5 = 7{,}5$ cm.

Aus dem Vorstehenden folgt, dass die Bahnen der Punkte 5 in Fig. 233 Hypocyklonoiden und zwar solche von der tropischen Form oder einer ihr sehr nahe liegenden Form sind. Die besprochenen Cyklonoiden berühren nämlich die anzunähernde Gerade in deren Achsenpunkt, werden sich aber, wie der Vergleich der Krümmungskreise mit den wirklichen Kurven erkennen lässt, doch bald von ihr merklich entfernen. Für die praktische Verwendung der angenäherten Ellipsenlenker ist es daher besser, solche nahebeiliegende Cyklonoiden als Annäherung an die Gerade zu wählen, die drei Punkte mit dieser gemein haben.

Hierfür erhält man bei gegebenen Abschnitten a und b des Hauptlenkers den Achsen- oder Drehpunkt 1 des Gegenlenkers, s. Fig. 234 a, durch Fällung eines Mittellothes auf die Sehne 2.2_0,

Fig. 234 Ellipsenlenker

das darauf die Mittellinie in 1 einschneidet. Bei gegebenem Achsenpunkt 1, s. Fig. 234 b, trage man dessen Abstand von der geraden Bahn als Verlängerung 5.1_0 der 3.5 auf und fälle wieder ein Mittelloth auf Sehne 1.1_0, das dann den Hauptlenker in dem gesuchten Angriffspunkt 2 schneidet. Wie viel genauer man hierbei die Annäherung erzielt, ist in Fig. 231 und 232 dadurch erkennbar gemacht, dass der Mittelpunkt G'_0 des grossen Kardankreises, der durch die drei gebrauchten Punkte der Kurven D' und C geht, beidemal eingetragen ist.

Beim Evans'schen Ellipsenlenker, der ebenfalls in den vorgeführten drei Arten verwendbar ist, wird die geradlinige Be-

wegung von Punkt 3 durch eine solche auf flachem Kreisbogen aus 4 ganz brauchbar ersetzt, s. Fig. 235. Hier ist also die Hauptkette $(C''_3 P^{\perp})$ wieder in die allgemeine Form (C''_4) übergegangen. Hübsche Anwendung zweier verbundenen Evans'schen

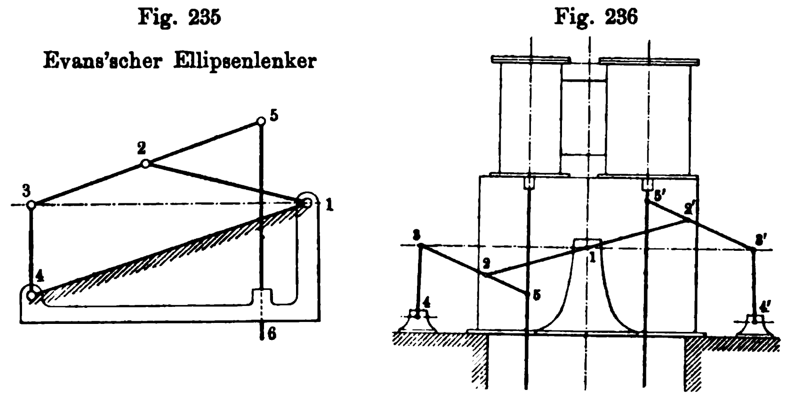


Fig. 235 Evans'scher Ellipsenlenker

Fig. 236

Lenker erster Art in der Verbundmaschine von Hathorn*), die Fig. 236 schematisch darstellt; die Maschine dient zur Wasserversorgung der Stadt Luton.

Andere Ellipsenlenker sind: das Roberts'sche Dreieck, der Dreiecklenker des Verfassers (drei Arten), der Kreuzlenker von Tschebyscheff, auch der genaue Ellipsenlenker „mit ganzem Spiel", d. h. demjenigen, bei dem $\alpha = \pi$ und Vielfachen davon gemacht wird. Diese letztere Einrichtung, die schon 1816 von Dawes angegeben wurde**), auch 1851 durch Booth auf die Londoner Weltausstellung gebracht ward (beidemal, um bald wieder zu verschwinden, weil sie baulich im höchsten Grade unpraktisch ist), wird immer wieder nacherfunden.

B. Umgekehrte Ellipsenlenker. Wir wissen, dass jede zwangläufig geschlossene kinematische Kette auf jedes ihrer Glieder aufgestellt und dadurch zu einem Mechanismus gemacht werden kann (s. S. 169). Aus diesem seinem Lehrsatze hat der Verfasser den folgenden abgeleitet:

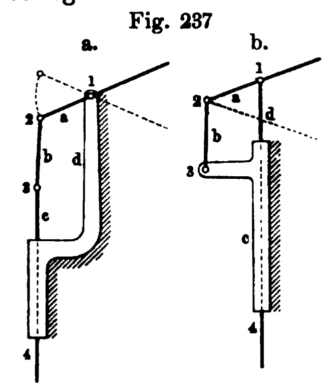
XVI. Jede Geradführung, die ein Kettenglied besitzt, dessen Punkte sämmtlich gerade geführt werden, kann durch Kettenumkehrung in eine andere Geradführung verwandelt werden.

*) S. Revue industrielle 1884, S. 265.

**) S. erster Band, S. 189 ff.

Dies gelingt dadurch, dass man das bis dahin gerade geführte Kettenglied zum Aufstellungsgliede wählt, worauf sich das ehemalige Aufstellungsglied mit allen seinen Punkten geradlinig bewegen muss. Ein einfaches Beispiel führt Fig. 237 vor Augen.

Fig. 237



Sie zeigt unter a eine schlichte Schubkurbel, bei der die gerade, durch Prismenführung erzwungene Bahn des Punktes 3 nicht wie oben bei Fig. 162 rechtwinklig zur Achse 1 geht, sondern an derselben vorbei, gegen sie rechtwinklig „geschränkt“ ist. Das Zeichen für rechtwinklig geschränkt ist $+$ *). Der Mechanismus Fig. 237 a heisst also $(C_3''P+)^d$. Man kann nun aber die hier zu Grunde liegende Kette so umkehren, dass *c* statt *d* festgestellt wird, wie in Fig. 237 b angegeben ist. Hierbei haben wir uns der obigen Bemerkung (S. 288) zu erinnern, dass als „Achse“ eines Prismas jede seiner Kanten oder jede Parallele zu einer solchen dienen kann. Hiernach ist das Glied *c* in Fig. 237 b nicht verschieden von *c* in Fig. 237 a. Nun wird der Mechanismus heissen $(C_3''P+)^c$. Beide Formen kommen in der Praxis vor. In Fig. b erkennen wir ein Stück Ellipsenlenker insofern, als die Handhabe des Hebels 2.1 annähernd Ellipsenbogen durchläuft, während sie im Falle a nur Kreise beschrieb. Wendet man nun den, hier an einem Beispiel erläuterten Grundsatz XVI auf die verschiedenen Arten des besprochenen Ellipsenlenkers an, so erhält man eine ganze Reihe „umgekehrter“ Ellipsenlenker.

Fig. 238 (a. f. S.) stellt unter a einen umgekehrten Ellipsenlenker erster Art, unter b einen solchen dritter Art dar. Das bei Fig. 228 besprochene Stück 5.6 ist, mit *e* bezeichnet, beidemal zum Aufstellungsgliede oder Steg gemacht; im Falle b ist noch die schwingbare Hülse 6.7 aus Fig. 228 c hinzugenommen. Beide Lenker sind vom Ingenieur Nehrlich 1858 ganz unabhängig gefunden worden und deshalb nach ihm genannt; die zweite Art hat er nicht gefunden. Nehrlich und Andere hatten die Unentbehrlichkeit der Führung 6 nicht bemerkt **), weshalb sich die Meinung

*) Erster Band, S. 252. — **) Auch Redtenbacher nicht, der in seinem „Maschinenbau“ beide Lenker ohne die Führung *b* darstellt.

bildete, man habe hier eine Gelenkgeradführung „mit nur einem festen Punkt“ vor sich. Man meinte, eigentlich „mit nur einer festen Achse“, übersah aber die erwähnte zweite feste

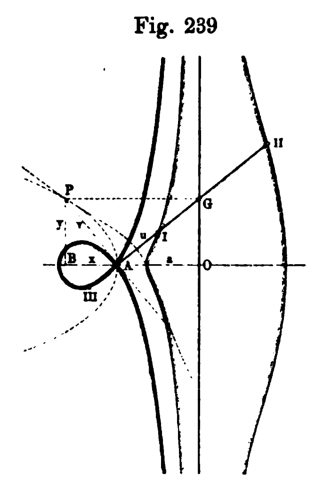
Fig. 238 Umgekehrte Ellipsenlenker

a. b.

Stelle bei 6. Läſst man diese weg, so ist die Kette nicht einmal zwanglos geschlossen, sondern offen, wie die in Fig. 119 a. Nimmt man die Führung 6 weg, wie man bei meinem Modell*) kann, so hört jede bestimmte Bewegung des Gliedes *d* auf. — Auch die andern oben angeführten Ellipsenlenker lassen sich zu „umgekehrten“ machen.

C. Der Konchoidenlenker. Wenn eine gerade Linie mit einem ihrer Punkte *G*, Fig. 239, einer festen Geraden nach und zugleich durch einen festen Punkt *A* ausserhalb der letzteren geführt wird, so beschreiben alle ihre Punkte (sogenannte gerade) Konchoiden oder Muschellinien. Diese erhalten zwischen *A* und *G* und ausserhalb der *AG* eine solche Form, dass sich Stücke, die gleichseitig zu dem auf die Gerade gefällten Lothe *AO* liegen, gut durch Kreisbogen annähern lassen. Dies lässt sich in Getrieben aus der Kette $(C''_3 P^{\perp})$ so verwirklichen, wie folgende Figur

Fig. 239



*) In den kinematischen Kabinetten der Kgl. Techn. Hochschulen i. Berlin u. Aachen.

andeutet, wodurch man alsdann den von mir so benannten Konchoidenlenker in drei Arten erhält. Die erste Art ist nur bei kleinem Ausschlag α des Hauptlenkers brauchbar, wie Fig. 239 lehrt; am brauchbarsten erscheint die dritte Art; sie ist von Reichenbach gegen 1817 erfunden und in seinen trefflichen Pump-

Fig. 240 Konchoidenlenker

a. erste Art b. zweite Art c. dritte Art

werken bei Rosenheim erfolgreich angewandt worden. Watt hat den Konchoidenlenker auch schon soviel wie gefunden *), ihn aber, nachdem sein Lemniskoidenlenker sich so bewährt hatte, nicht weiter verfolgt.

Die Gegenlenkerlänge kann wieder wie oben entweder bei gegebenem Angriffspunkt 2 oder bei gegebener Lage der Drehachse 1 zu suchen sein. Die Ermittlung geschieht, wie

Fig. 241 Konchoidenlenker

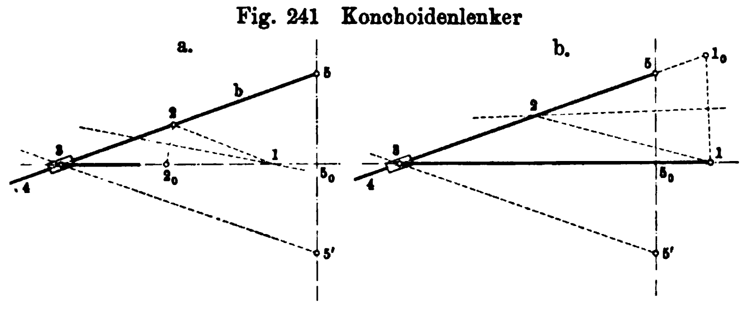


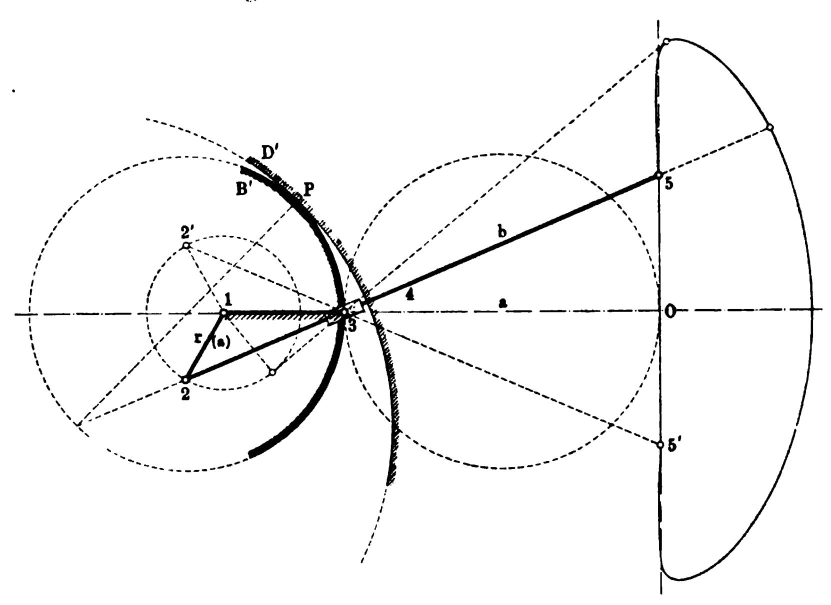
Fig. 241 unter a und b darstellt, sehr ähnlich wie oben beim Ellipsenlenker besprochen wurde.

Es bleibt noch die kinematische allgemeine Frage über das Zustandekommen des Konchoidenlenkers zu beantworten. Dieser Frage wegen sind in Fig. 239 die beiden Polbahnen, die eine der

*) S. Muirhead, The mechanical inventions of James Watt, Bd. III, London 1854, S. 96. Klar war ihm die Sache aber offenbar nicht, denn es bedarf einer genauen Elementaranalysirung der betreffenden Fig. 7 auf Tafel XXII daselbst, um zu finden, dass in dem dort angegebenen Mechanismus der Konchoidenlenker steckt.

ruhenden, die andere der beweglichen Geraden angehörend, eingetragen. Erstere wird eine Parabel von der Gleichung $y^2 = ax$, wenn der Abstand $AO = a$ gesetzt wird. Die andere Polbahn, deren Koordinaten $GA = u$ und $AP = v$ seien, wird ausgedrückt durch die Gleichung $a^2v^2 = u^2(u^2 - a^2)$. Sie hat zwei gleiche Aeste, von denen nur einer zur Rollung kommt; ich habe sie eine biquadratische Hyperbel genannt*). Auf die Krümmungshalbmesser der beiden Kurven an den Scheiteln kommt es an, da die benutzte Rollung nur in der Nähe dieser Scheitel statt-

Fig. 242 Konchoidenlenker dritter Art



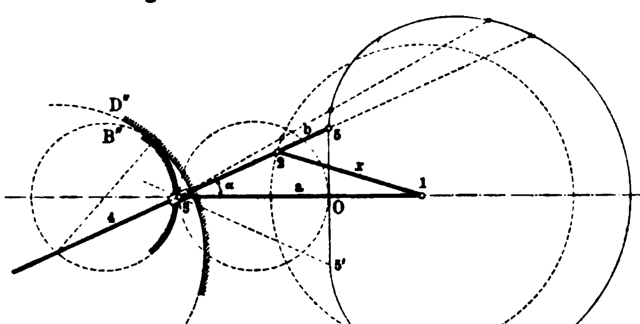
findet. Nun ist der Krümmungshalbmesser der Parabel am Scheitel $A = \frac{1}{2}a$, und es ergibt sich derjenige der biquadratischen Hyperbel $= a$, also doppelt so gross; mithin sind die beiden Krümmungskreise an den Scheiteln der Polbahnen kardanische Kreise. Da nun aber z. B. beim Lenker dritter Art, Fig. 242, der beschreibende Punkt in O, der dem grossen Kardankreis D' angehört, um den Durchmesser a des (ruhenden) kleinen Kreises vom Scheitel 3 absteht, ist die Bahn $O5$, $O5'$ die tropische mittlere Pericykloide der Krümmungskreise bei der

*) Vergleiche meine übergedruckten Vorträge über Kinematik, herausgegeben von den Studirenden der K. Gewerbeakademie, 2. Aufl., 1870.

wirklichen Konchoide. Ueber diese tropische Pericykloide haben wir S. 9 und S. 52 gehandelt. Gehen wir aber nun auf unser Kurbelgetriebe, das doch in dem Lenker vorliegt, und auf dessen Polbahnen Fig. 231 zurück, so erkennen wir, dass es sich in unsrem Lenker dritter Art um die Polbahnen D' und B' handelt, deren Krümmungskreise für die Scheitel, wie damals erörtert, ebenfalls Kardankreise sind.

Beim Lenker erster Art, Fig. 243, ist es das zweite Paar von Kurvenästen, benannt B'' und D'', dessen Scheitel bei 3″ zur Be-

Fig. 243 Konchoidenlenker erster Art



rührung gelangen und dessen Krümmungskreise sich ebenfalls als Kardankreise ergeben hatten, das die annähernd geradlinige Bewegung verwirklicht. Wiederum handelt es sich um mittlere tropische Pericykloiden.

Fassen wir die behandelten Ellipsenlenker und die Konchoidenlenker noch einmal zusammen, wozu die Veranlassung in dem Umstande liegt, dass beide aus der Kette $(C''_3 P^{\perp})$ gebildet sind, so erkennen wir:

XVII. d a s s d i e g e r a d e B a h n b e i d e n E l l i p s e n l e n k e r n d u r c h t r o p i s c h e m i t t l e r e H y p o c y k l o n o i d e n, b e i d e n K o n c h o i d e n l e n k e r n d u r c h t r o p i s c h e m i t t l e r e P e r i c y k l o n o i d e n a n g e n ä h e r t w i r d.

Wie nothwendig es war, im ersten Abschnitt die tropischen Cykloiden zu behandeln und überhaupt klar auszuscheiden, auch die Pericykloide deutlich abzutrennen, wird hier aufs neue klar.

Dass „umgekehrte“ Lenker auch aus dem Konchoidenlenker gebildet werden können, ist einleuchtend; immer ist dabei zu

beachten, dass bei 5 dann ein gerade geführter Stab anzuhängen und ähnlich, wie Fig. 228 und 238 gezeigt, zu behandeln ist.

D. Andere Lenker. Die Geradführungsaufgabe hat noch eine ganze Reihe von Lösungen in Mechanismen gefunden. Der älteste derselben ist der bekannte Wattische Lemniskoidenlenker, auf den wir nachher noch zurückkommen müssen. Sodann hat Tschebyscheff einen, die Gerade sehr genau annähernden, aber aus 6 Gliedern von der Form $C^{+} \dots \| \dots C^{+}$ gebildeten Lenker angegeben *); man kann ihn einen höheren Lemniskoidenlenker nennen. Vor Tschebyscheff hatte schon Harvey einen verwandten 6gliedrigen Lenker ausgegeben, ebenso Maudsley, denen der Verfasser zur Vervollständigung noch einen hinzufügte; die Anwendungen sind nicht zahlreich.

Die Orthocykloide mit ihrer geraden Mittelsbahn hat früh zu den „Cykloidenlenkern“ geführt; Watt wandte diese Geradführung bereits an **). Besonders ausgebildet hat sie Outridge zur Uebertragung der Kurbelbewegung in der Kreuzschleife ***). Aus dem Umkehrungssatz Seite 294 hat der Verfasser eine kleine Reihe „umgekehrter“ Cykloidenlenker aus dem vorigen abgeleitet †).

Die Cartwright'sche Geradführung findet mancherlei Anwendungen. Sie besteht aus zwei „rotirenden Schubkurbeln“ $(C_3''P^{+})^{d}$, die gleichzeitig auf dasselbe Querhaupt wirken und durch ein Zahnräderpaar zu gleichförmiger Gegendrehung verbunden sind. Wo diese Zahnräder schon wegen anderer Zwecke erforderlich sind, eignet sich die Geradführung sehr gut ††).

Angeführt sei noch, unter Uebergehung unwichtigerer Arten, die von Paucelier angegebene Geradführung †††). Ein zwiehälftiger Storchschnabel nach Fig. 227 a bekommt, wenn man ihn gleichseitig baut, sodann $1.2'.3'II' = 1.2.3.II$ macht und nun die Glieder $2'3'$ und $II'3'$ umschlägt, s. Fig. 244 a, die bemerkens-

---

*) S. Dinglers Journal 1862, Bd. 163, S. 403.

**) S. Muirhead, a. a. O.

***) S. Engineering 1878.

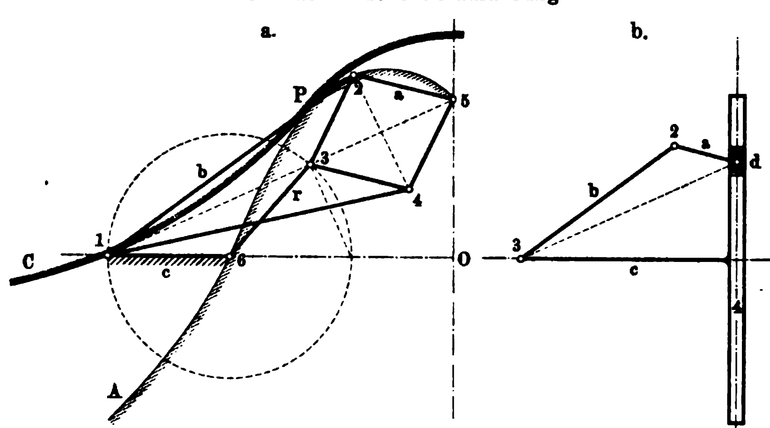
†) S. Reuleaux, Sektorführungen, Berl. Verhandl. 1870, S. 95.

††) So beim Fabry'schen Wetterrad und dem Root'schen Gebläse, wo man gelegentlich eine ganz entbehrliche Geleisführung noch hinzugefügt findet (z. B. bei Thwaites Brothers, Bradford); eine gute Anwendung auf Riementriebpumpen brachte Am. Machinist 24. Jan. 1885, S. 3.

†††) S. Nouvelles annales des mathématiques IV, 2me série, 1864.

werthe Eigenschaft, mit dem Punkte 3 einen Kreis zu beschreiben, wenn Punkt 5 eine Gerade durchläuft. Dieser Kreis geht durch den Punkt 1 und hat seine Mitte 6 auf dem Lothe, das aus 1 auf die Gerade 5*O* gefällt wird; führt man also Punkt 3 mittelst eines Gegenlenkers 6.3 in dem genannten Kreise, so ist das Ganze eine Geradführung für Punkt 5 *). In der Ausführung ist

Fig. 244
Die Paucelier'sche Geradführung



dieser Lenker keineswegs einfach, da er nicht nur 8 Kettenglieder hat, von denen mehrere doppelt hergestellt werden müssen, um anderen auszuweichen, sondern weil seine Cylinderpaare, ausgenommen das bei 6, zweifach sind, also die Zahl der Elementenpaare auf 11 steigern und wegen ihrer verschieden gerichteten Abnutzungen die Genauigkeit bald stark beeinträchtigen müssen. Trotzdem hat der Paucelier'sche Lenker eine Zeitlang eine förmliche Begeisterung bei den Maschinenpraktikern hervorgerufen, weil man die Lenkung in einer „wirklichen geraden Bahn durch Kreislenker“ für besonders werthvoll ansah. Man gieng so weit, die Hauptkräfte der Dampfmaschine durch das feine 11zapfige Gliederwerk zu führen **). Das geschah entgegen dem Rath der Kinematiker, legte aber Zeugniss dafür ab, dass auch die Männer

*) Werden 1.2 und 1.4 unendlich gross gemacht, d. h. die Punkte 2 und 4 einer und derselben Geraden nachgeführt, so wird auch $r = 6.3$ unendlich gross; Punkt 3 beschreibt dann Spiegelbilder der Bahnen von Punkt 5. Angewandt bei der Sabel'schen Gravirmaschine, D. R. P. 51309.

**) Vergl. Hülsenbergs Mittheilung in der Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1877, S. 11.

der Praxis zu idealen Bestrebungen geneigt sind, und das ist gewiss nicht zu tadeln. Die Erfahrung hat dann zu den einfacheren Einrichtungen wieder zurückgeführt. In unsrer Figur habe ich noch die Polbahnen der Stücke *a* und *c*, 2.5 und 1.6, angegeben; sie haben die Eigenschaft, den Punkt 5 unausgesetzt durch tropische Lagen zu führen, ganz wie mit den Umfangspunkten des kleinen Kardankreises geschieht, vergl. S. 51.

Ersetzt man die Gelenkführung, die dem Punkt 5 zu Theil wird, durch Schienenführung, wie unter b, Fig. 244, gezeigt ist, so erkennt man in der Bewegung der Stücke a und b gegen c die Bewegung wieder, die im geschränkten Schubkurbelgetriebe $(C''_3P+)^c$ stattfindet; der „Lenkstab" *d*, hier zu einer Gleitpfanne zusammengeschrumpft, aber nach wie vor $= C^+ \ldots \perp \ldots P^+$, steht an der Stelle der gleich gearteten Stange, die man bei 5 anhängen würde, wie bei dem Ellipsenlenker in Fig. 228. — Auch der Paucelier'sche Lenker würde sich ganz so, wie beim Ellipsenlenker, Fig. 238, gezeigt wurde, umkehren lassen, was auch von den übrigen vorhin kurz aufgezählten Geradführungen gilt*).

E. Abgeleitete Geradführungen. Von Geradführungen irgend einer Art, sei es, dass sie durch Paare (Prismenpaar, rollende Paare) oder dass sie durch kinematische Ketten bewirkt

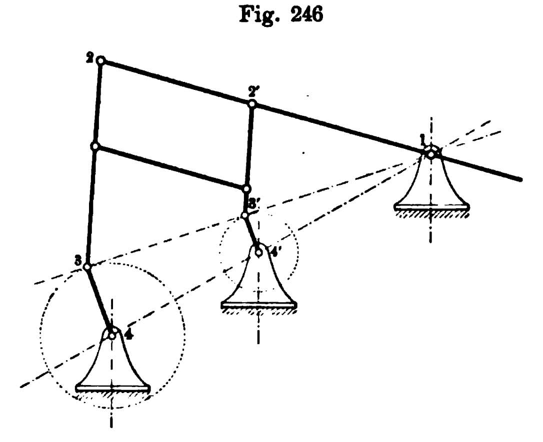
Fig. 245 Das Wattische Parallelogramm

werden, kann man andere ableiten. Als das wesentlichste, wenn auch nicht einzige Hülfsmittel hierzu dient der Storchschnabel. Schon Watt erfand diese Verwendung des Storchschnabels. Er verband mit dem von ihm erfundenen Lemniskoidenlenker 1.2.3.4,

*) Ueber Emery's Geradführungen und Parallelführungen unter Anwendung von Blattgelenken s. Reuleaux, Ueber die neueren amerikanischen Fortschritte im Bau der Waagen, in Glasers Annalen 1885, S. 21.

Fig. 245, einen Storchschnabel und leitete durch denselben von der annähernd geraden Bahn des Punktes III die ebenso angenäherten Bahnen der Punkte 3′, 3″, III″ ab. Die ganze Vorrichtung erhielt im weiteren Fortgang der Maschinenentwicklung den Namen des Wattischen „Parallelogramms“. Dieser Name hat viel verdunkelt. Noch bis heute halten Viele das Wattische Parallelogramm für eine für sich bestehende Geradführung. Um augenfällig zeigen

Fig. 246



zu können, dass sie das nicht ist, habe ich an einem kinematischen Modell *), das Fig. 246 schematisch darstellt, mit genau demselben Mechanismus eine Kreisbewegung von 3 nach 3′ abgeleitet. Die Gliederung 1.2.3.4, Fig. 246, ist genau so gebildet, wie der Wattische Lenker 1.2.3.4 in Fig. 245.

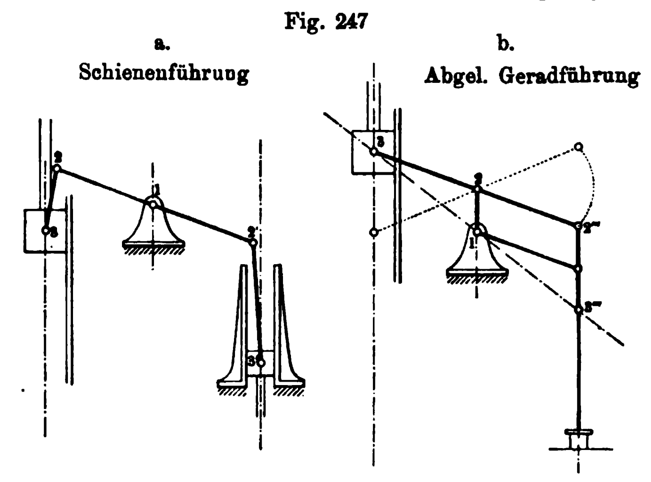
Die soeben erwähnte Verdunkelung gieng sehr weit. So findet man in den Schriften des trefflichen russischen Gelehrten Tschebyscheff, der mit besonderer Vorliebe Gelenkgeradführungen behandelt hat, für „Geradführung“ geradezu den Namen „Parallelogramm“ gebraucht. Die Nichterkennung des Storchschnabels in Watts Parallelogramm hielt die Entwicklung, die aus der Verwendung des Storchschnabels hervorgehen konnte, merklich auf. Als Beispiel sei das Luftpumpengetriebe der Schiffsdampfmaschinen angeführt. Es wird bei den stehenden Maschinen zum Schraubenbetrieb gewöhnlich so oder ähnlich ausgeführt, wie Fig. 247 a (a. f. S.) andeutet, mit besonderer Geleisführung für die Kolbenstange der Luftpumpe; statt dieser Geleisführung findet sich gelegentlich sogar eine vollständige Gelenkgeradführung. Ganz einfach aber

*) In dem kinematischen Kabinet der Königl. Techn. Hochschule in Berlin; an dem einen Ende eines „Balanciers“ befindet sich die Einrichtung Fig. 245, am anderen die Einrichtung Fig. 246. Die Ausführung muss sehr genau sein, da die abgeleitete Kreisbewegung auch durch den Lenker 4′3′, also zwiefach- oder doppelschlüssig geführt wird.

wäre, wie Fig. b zeigt, die Ableitung mittelst des Storchschnabels von der bereits vorhandenen geradlinigen Bewegung des Querhauptzapfens 3.

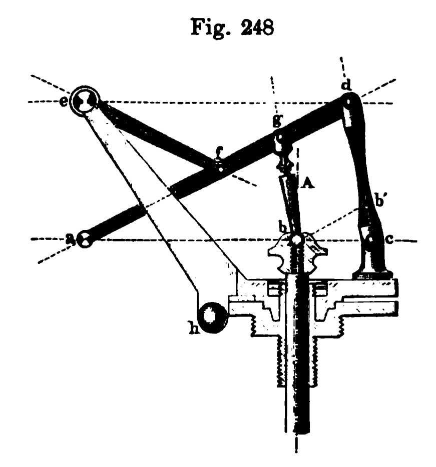
Allerlei Untersuchungen hat, um noch auf ein anderes Beispiel hinzuweisen, der Indikator seiner Geradführung wegen hervor-

Fig. 247



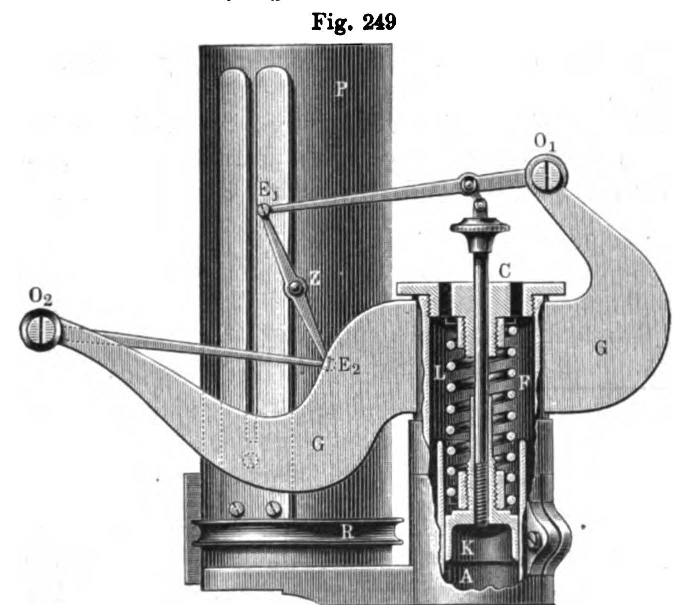
gerufen. Zweierlei wünschte man zu erzielen: eine gerade Bahn für den Schreibstift und eine Fortschreitung des letzteren, die streng proportional derjenigen des Kölbchens sein sollte. Für den ersteren Zweck wandte man, wie die der Praxis entnommene Fig. 248 zeigt, einen Ellipsenlenker nach Fig. 235 an, hier mit c, d, f, a, e bezeichnet. Sodann wurde von gelehrter Stelle mit viel mathematischem Aufwand ermittelt, dass man für den zweiten Zweck die Koppel A von solcher Länge wählen solle, dass diese sich zu cd verhalte wie $ag : ad$ und zugleich wie $ab : ac$. Man bemerkte nicht, dass dies nichts anderes hiess, als die Koppel zu einer Parallelstange eines Storchschnabels vom Festpunkt c zu machen. Hätte man aber dies bemerkt und nun die von

Fig. 248



mir punktirt eingetragene Parallelstange bb' noch angebracht, so hätte der entstandene Storchschnabel den Schreibstift vermöge Ableitung von der vorhandenen geradlinigen Bewegung auch noch gerade geführt, worauf der Gegenlenker und der Arm eh wegfallen konnten. Nimmt man Aluminium als Baustoff des Hebelwerkchens an und vergleicht es nun beispielsweise mit dem Indikator von Richard, Fig. 249, so bekommt man eine deutliche

Fig. 249



Vorstellung von den Diensten, die im vorliegenden Falle die Kinematik der Praxis darbietet; der ganze Arm GO_2 fällt weg, ebenso der Arm E_2E_1, was wegen der oft beklagten Trägheit der bewegten Theile von besonderem Werth ist.

Andere Getriebe, mittelst deren Geradführungen abgeleitet werden können, kann ich hier übergehen, da sie seltener angewandt werden.

§. 45

Parallelführungen

Die Mechanismen zur Parallelführung sind nicht so zahlreich wie die Geradführungen, finden aber sehr wichtige Verwendungen. In Bezug auf ihre allgemeine Benennung herrscht im englischen

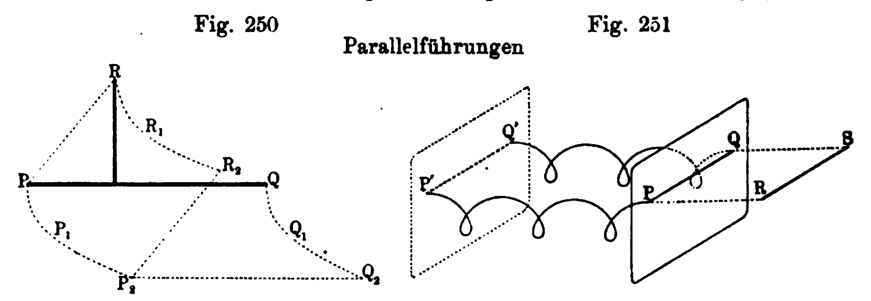
Sprachgebiet eine missverständliche Auffassung, indem man nämlich dort die Geradführungen *„parallel motions“*, also Parallelführungen nennt*), die eigentlichen Parallelführungen aber als Klasse von Mechanismen nicht ausscheidet. Hier zeigt sich deutlich, wie wichtig es ist, bei den Begriffsbestimmungen und Benennungen sorgfältig zu verfahren. Der kinematische Begriff der Parallelführung ist zudem ausserordentlich nützlich.

Eine Parallelführung ist ein Getriebe, das eine ebene Figur so leitet, dass alle ihre Lagen parallel zu ihren Anfangslagen sind.

Wird eine ebene Figur PQ (vergl. Bd. I, S. 63) in ihrer Ebene aus ihrer Anfangslage heraus „parallel geführt“, so wird einer ihrer Punkte P, Fig. 250, irgend eine Kurve PP_1P_2 be-

Fig. 250 Fig. 251

Parallelführungen



schreiben. Eine dieser gleiche Bahn beschreibt dann aber auch der Punkt Q, da wegen der Unveränderlichkeit des Abstandes PQ die Abszissen, und wegen des erwähnten Parallelbleibens die Ordinaten beider Kurven, wenn von den Anfängen P und Q aus gemessen, gleich sind. Verfolgt man noch einen Punkt R der beweglichen Figur, der ausserhalb der Geraden PQ und in festen Abständen von P und Q liegt, so erkennt man, dass die von ihm beschriebene Kurve RR_1R_2 der ersten abermals gleich ist, da die Verbindungsgeraden PR und QR unveränderlich sind, also stets parallel ihren ersten Lagen bleiben.

Bewegt man nun die ebene Figur PQ aus der Ebene $P'Q'$, in der sie sich befand, heraus, indem man sie zugleich stets

*) Wie weit das geht, sieht man z. B. daran, dass Goodeve (Principles of mechanism) den geradgeführten Punkt „parallel point“ (!) nennt. Ich vermuthe, dass die vorhin erwähnte unklare Auffassung des „Wattischen Parallelogramms“ das geradezu mit sich gebracht hat.

parallel ihrer ersten Lage hält, so beschreiben alle ihre Punkte wiederum gleiche Kurven $P'P$, $Q'Q$ usw., s. Fig. 251, da deren Koordinaten zu einer, zur Anfangsebene rechtwinkligen Ebene stets gleich sind. Mit der beweglichen Figur PQ kann man nunmehr eine andere RS und demnach ein räumliches Gebilde fest verbinden und in dasselbe hinein stets Parallelen zur ersten Lage der Geraden PQ legen. Hieraus ergibt sich, dass auch deren Punkte Kurven beschreiben, die den Bahnen von P und Q gleich sind. Dies alles zusammengefasst, liefert folgenden Satz:

XVIII. Alle Punkte, die mit einem parallel geführten räumlichen Gebilde fest verbunden sind, beschreiben bei dessen Bewegung gleiche und parallel liegende Bahnen.

Zieht man zu den Bahnen zweier Punkte eines parallel geführten Gebildes Normalen, die in einer und derselben Ebene liegen, so sind diese stets parallel, schneiden einander also in unendlicher Ferne; somit vermag man Paare von Polbahnen oder Axoiden für parallel geführte Gebilde nicht anzugeben, oder:

XIX. Bei den Parallelführungen liegen die Polbahnen oder Axoide der parallel geführten Stücke in unendlicher Ferne, können demnach jeder beliebigen Bewegungsart entsprechen.

Hiernach liefern die Parallelführungen nicht sofort völlig bestimmte Bewegungen, sondern beschränken letztere nur. Um sie zu bestimmten zu machen, ist noch eine Leitung des parallel geführten Gebildes hinzuzufügen; diese reicht aber aus, sobald nur ein einziger Punkt des Gebildes geleitet wird, oder:

XX. Eine Parallelführung liefert bestimmte, und zwar lauter gleiche Bewegungen des parallel geführten Gebildes, wenn ein einziger Punkt desselben zwangläufig geleitet wird.

Die Getriebe zur Parallelführung besitzen gemäss den vorstehenden Sätzen sehr bemerkenswerthe Eigenschaften. Sie lassen sich in zwei Klassen theilen, je nachdem

a) die parallele Lage innerhalb des ganzen Spieles des Getriebes erhalten bleibt, oder
b) nur bei unendlich kleinen Bewegungen genau, bei endlicher Bewegung nur angenähert erhalten bleibt.

Erstere Getriebe nenne ich „vollkommene“, letztere „unvollkommene“ Parallelführungen. Beide Arten sind sehr viel praktisch angewandt. Noch eine andere Unterscheidung haben wir zu machen, und zwar zwischen solchen Getrieben, bei denen der Zwanglauf bereits durchgeführt ist, nämlich in der Natur der angewandten Kette liegt, und solchen, bei denen dieser Bewegungszwang noch nicht vorhanden ist, die daher freigängig genannt werden dürfen. Wichtige Beispiele aller drei Gattungen seien jetzt besprochen.

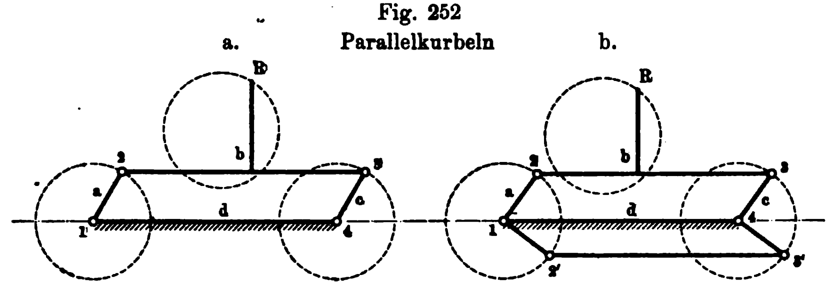
§. 46

Vollkommene Parallelführungen

Ungemein häufig gebraucht ist das „Parallelkurbelgetriebe“, kürzer auch wohl die „Parallelkurbel“ genannt, s. Fig. 252 a,

Fig. 252

a. Parallelkurbeln b.



gebildet aus der Kette (C''_4) durch Gleichmachung der gegenüberstehenden Glieder. Man kann nach Band I, S. 287 die Kette durch die Formel $(C''_2 \parallel C''_2)$ ausdrücken; auf welches der vier Glieder man sie einstellt, ist gleichgültig: immer wird das dem Steg gegenüberstehende parallel geführt. Zugleich leitet die Gliederung zwei seiner Punkte, mithin also auch sämmtliche übrigen, in Kreisen, wie bei R in der Figur angedeutet ist.

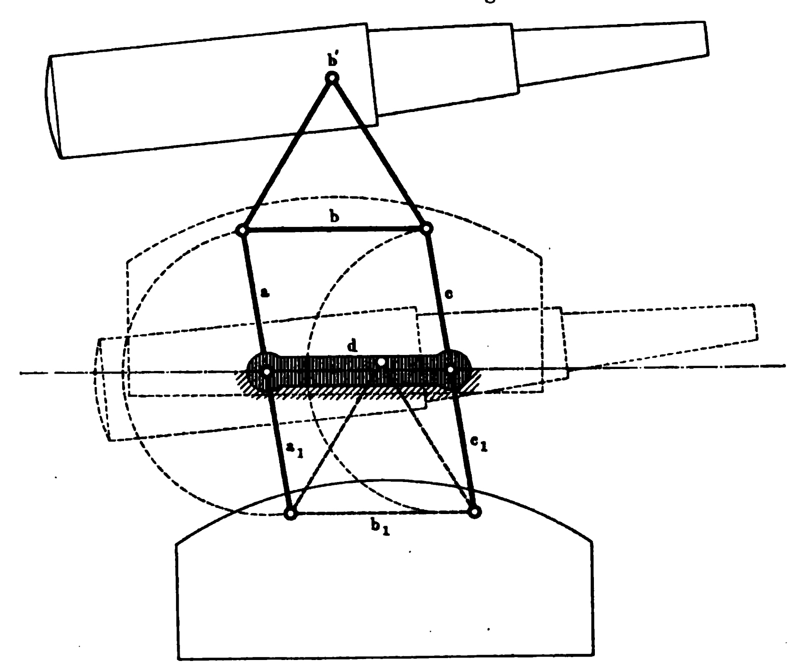
In den „verbundenen Parallelkurbeln“, siehe Fig. 252 b, vieltausendfach in der Lokomotive angewandt, sind die Kurbeln 1.2 und 3.4 fest mit den Kurbeln 1.2′ und 4.3′ verbunden.

Der in England schon vor Jahren gepflegte Gedanke der „Verschwindungslaffette“, die General Moncrieff zuerst vorschlug, ist bei den Amerikanern neuerdings wieder mit Erfolg aufgenommen worden in der Gordon'schen Laffette für ein 30,5 t schweres Geschütz. Das Kanonenlager steht auf verbundenen

Parallelkurbeln von 180° Winkelabstand, s. Fig. 253, deren zweites Paar ein Gegengewicht trägt. Der Rückstoss beim Schuss bewirkt Drehung der Parallelkurbeln um 180° in drei Sekunden.

Fig. 253

Gordon'sche Verschwindungs-Laffette



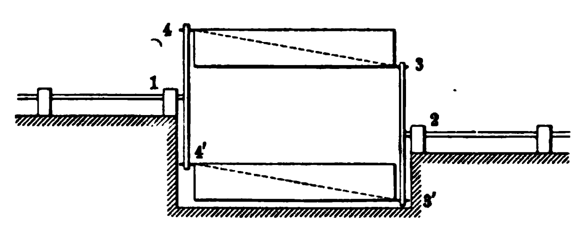
Zur Bewegungsbedienung reichen drei Mann vollständig aus. Das Geschütz gab bei den Abnahmeversuchen (nach Engineering 1896) im Schnellfeuer 20 Schüsse in 30 Minuten ab.

Verbundene Parallelkurbeln, 12 bis 14 an der Zahl, sind bei dem Buchanan'schen Ruderrad zum Führen der Schaufeln angewandt und zwar, um diese stets senkrecht zu halten. Das Rad, schon 1813 in England patentirt, wirkt, entgegen der Meinung des Erfinders und der zahlreichen Nacherfinder, sehr ungünstig auf das Wasser. Seine Schaufeln treten mit heftigem Rückstoss ein, und mit ungünstiger, das Schiff verzögernder Wirkung aus. Schon im vorigen Jahrhundert hatte der schwedische Gelehrte Polhem die Einrichtung für unterschlächtige Wasserräder empfohlen, und zwar ungefähr in der Form, die Fig. 254 (a. f. S.) andeutet. Auch sie ist wiederholt nacherfunden worden, ist aber

durchaus unpraktisch, schon allein, weil bei ganz geringen Spielräumen an den Zapfen der Schaufeln diese sich um die schrägen Achsen 4.3 und 4'.3' usw. drehen.

Fig. 254

Polhem's Wasserrad



Sehr werthvolle Anwendungen dagegen finden die verbundenen Parallelkurbeln in den Maschinen zur Tauschlägerei. Hier werden Spulen, die entweder Drähte, oder bereits gesponnene Litzen auf sich tragen, unter steter Erhaltung ihrer senkrechten Stellung um die geometrische Achse des zu spinnenden Seiles herumgeführt und gleichzeitig durch das fortschreitende Seil abgewickelt. Eine grosse Seilspinnmaschine von Bullivant & Cie, die sechs Litzen mit einer Hanfseele zum Seil vereinigt, stellt Fig. 255 dar. Die am rückwärtigen Ende der Maschine deutlich erkennbaren sechs verbundenen Parallelkurbeln führen die Spulenträger parallel.

Vielfach wird die Seilspinnmaschine auch so gebaut und gebraucht*), dass das Seil senkrecht aufsteigt, die Achse des Spulenkäfichs also auch senkrecht steht; meist wird dann Räderparallelführung, s. unten, statt derjenigen mit Kurbeln angewandt. Ein Hauptgedanke beider und der verwandten Maschine ist aber noch hervorzuheben. Es ist, dass der Spinnvorgang unter kinematischer Umkehrung des uralten und herkömmlichen Spinngetriebes erzielt ist. Das zu fertigende Gebilde, Faden, Litze, Strahn, Seil wird nicht mehr gedreht wie früher, sondern schreitet nur ohne Drehung fort, während die zu vereinigenden Zugelemente, Strähne, Litzen, Fäden, Fasern, herumgeführt werden; es ist als ob man am Spinnrad den Rocken herumführte und den fertig werdenden Faden aufspulte: die angewandte Relativbewegung ist dabei wesentlich dieselbe wie früher (vergl. S. 107);

*) Bei uns z. B. im Saarbrücker Revier für Förderseile, auch mehrfach in Frankreich.

ein ausserordentlich wichtiger kinematischer Grundsatz ist hier zu grosser, ja grossartiger Anwendung gebracht.

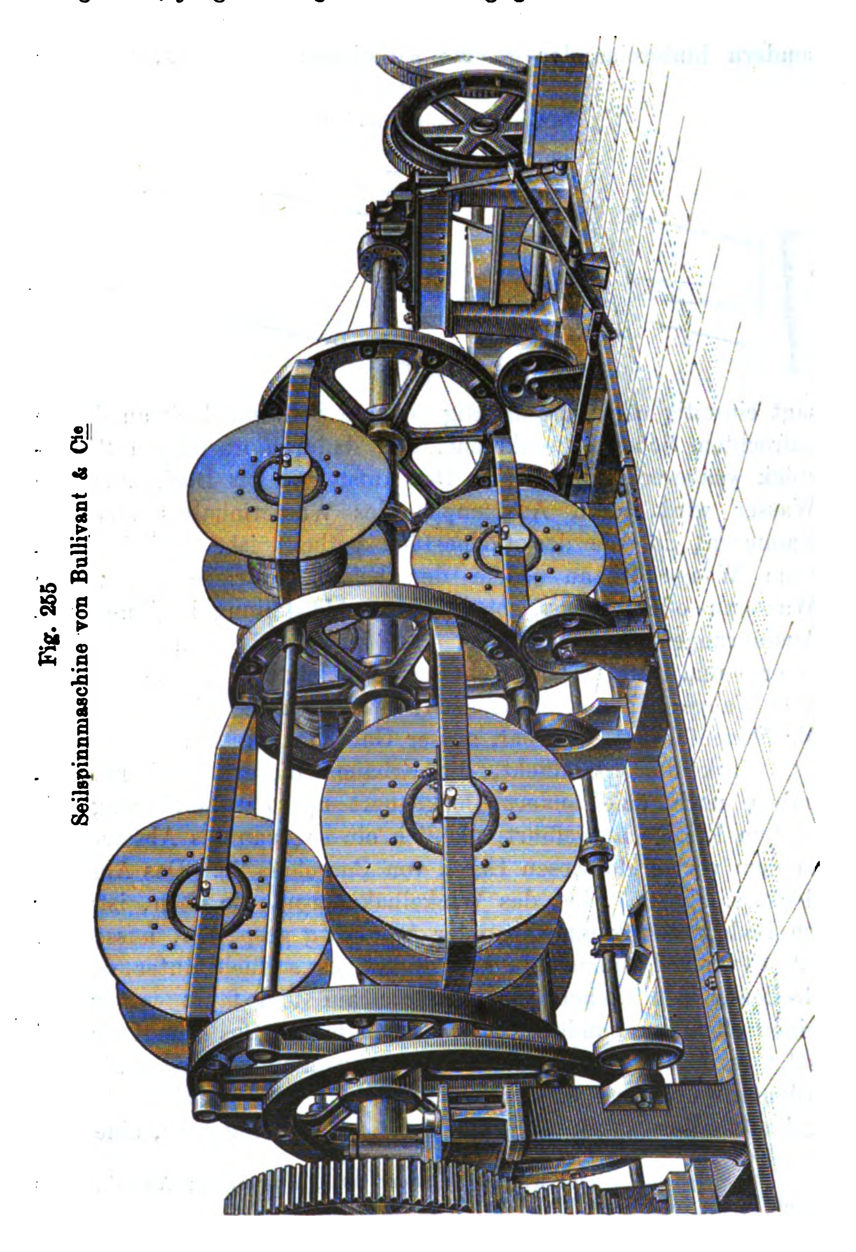
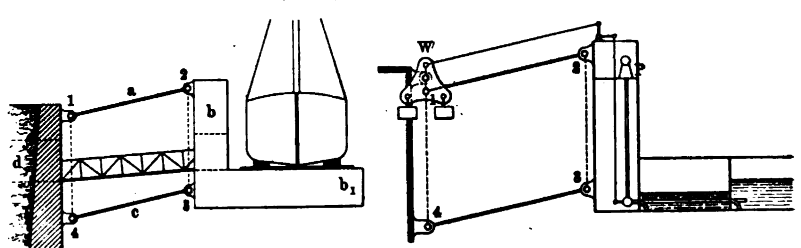


Fig. 255
Seilspinnmaschine von Bullivant & Cie

Eine bemerkenswerthe Anwendung der Parallelkurbeln ist die in dem Clarke'schen Schwimmdock*), das Fig. 256 skizzirt darstellt. Hier sind zwei verbundene Parallelkurbeln nicht neben-, sondern hintereinander gelegt; sie dienen dazu, das, wie man

Fig. 256
Clarke's Schwimmdock



sagt einseitig oder einschenklig gebaute Schwimmdock an dessen aufrechtem Schenkel senkrecht, und dadurch an seinem Bodenstück waagerecht zu halten. Das Aufsteigen des Docks aus dem Wasser wird durch Auspumpen des Wasserinhaltes aus den Kammern, in die das Bodenstück getheilt ist, herbeigeführt. Eine Waage *W* an jedem der beiden Getriebe regelt den Wasserzu- oder -abfluss, sobald eine Schiefstellung beginnen will. Ausführungen solcher Docke sind in Cardiff, San Francisco, Oporto und Hamburg im Gebrauch; am letzteren Platze hat man die Waage *W* als entbehrlich, weil durch Eingreifen des Maschinenführers ersetzbar, ausser Gebrauch gesetzt.

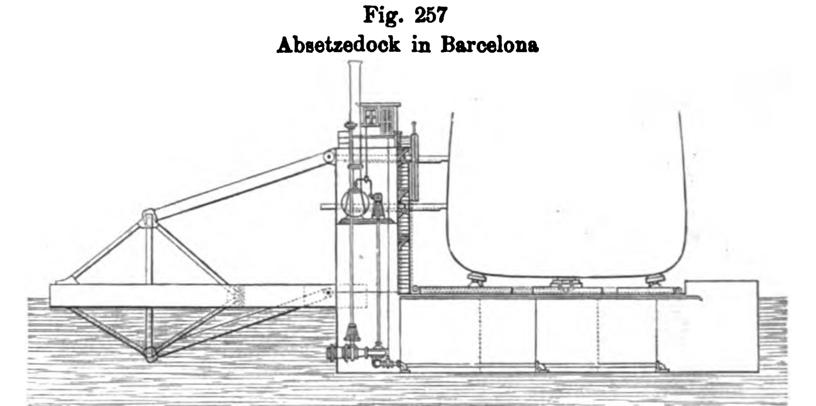
Clark und Standfield, die Erbauer dieser Schwimmdocke, haben noch eine andere Dockbauart mit Parallelführung mit bestem Erfolge ausgeführt, nämlich ein sogenanntes Absetzedock in dem vorher docklosen Hafen von Barcelona**). Das Absetzedock, s. Fig. 257, hat das Winkelhakenprofil wie oben, ist aber im Bodenstück kammartig oder handartig gespalten, ausserdem ist es freischwimmend. Man führt es seitlich unter das zu dockende Schiff, hebt das letztere auf und fährt es nun an einen ebenfalls handartig gespaltenen festen Rost am Ufer und setzt es darauf nieder, worauf das Schwimmdock wieder abfährt, allenfalls um noch ein zweites Schiff auf den ausreichend breit gebauten Rost setzen zu können. Die Parallelführung, eine ver-

*) S. Scientific American Supplement 1881, August 27; Ausführliches auch in Engineer (London) 1896, S. 623 ff.

**) Scientific American 1895, November, S. 16590.

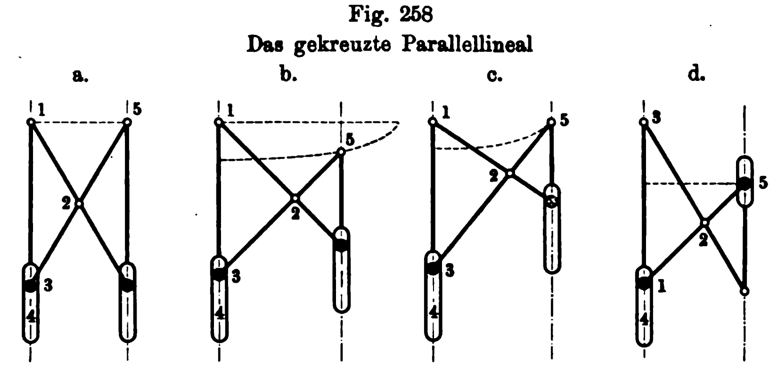
bundene Parallelkurbel wie oben, greift an einen schwimmenden Ausleger, der das Dock stets in der waagerechten Lage erhält.

Fig. 257
Absetzedock in Barcelona



Das „gekreuzte Parallellineal“, das Fig. 258 in vier Formen darstellt, findet sich öfter benutzt, namentlich in der Bauart a. Es beruht nicht darauf, dass die Gliederung 1.2.3.5 ein genauer Ellipsenlenker ist, wie man glauben könnte, sondern auf solcher

Fig. 258
Das gekreuzte Parallellineal



Wahl der Verhältnisse, dass Dreieck 1.2.3 immer ähnlich seinem Scheiteldreieck ist. Aneinandergereihte Kreuzlineale nach Form a liefern ausdehnbare oder verengbare Gitter oder Faltgitter, die man als Eingangsverschluss neuerdings viel benutzt. Bei Weglassung der Stangen 1.4 und ihrer Parallelen in verbundenen Kreuzlinealen entsteht die sogenannte Nürnberger Scheere.

Die „Zahnräderparallelführung“, abgekürzt auch Räderparallelführung genannt, erweist sich oft als sehr brauchbar, z. B. bei der Führung des Wagens in der Schnellpresse, in

Fig. 259 a zur Hälfte angedeutet; das genau cylindrische Rad rollt auf der Schiene, der sehr genaue Zahneingriff verhütet alle

Fig. 259

a. Räderparallelführung b.

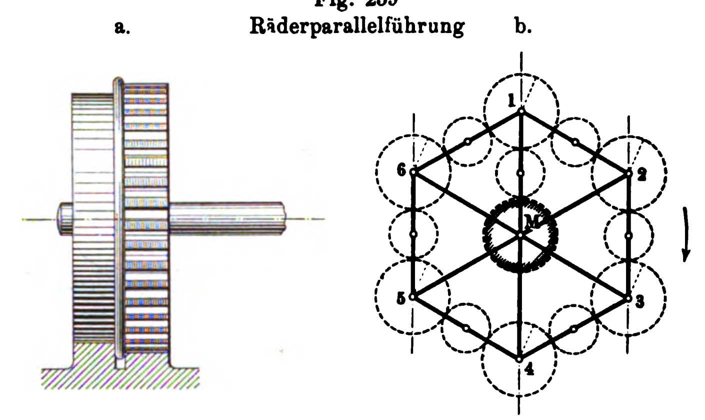
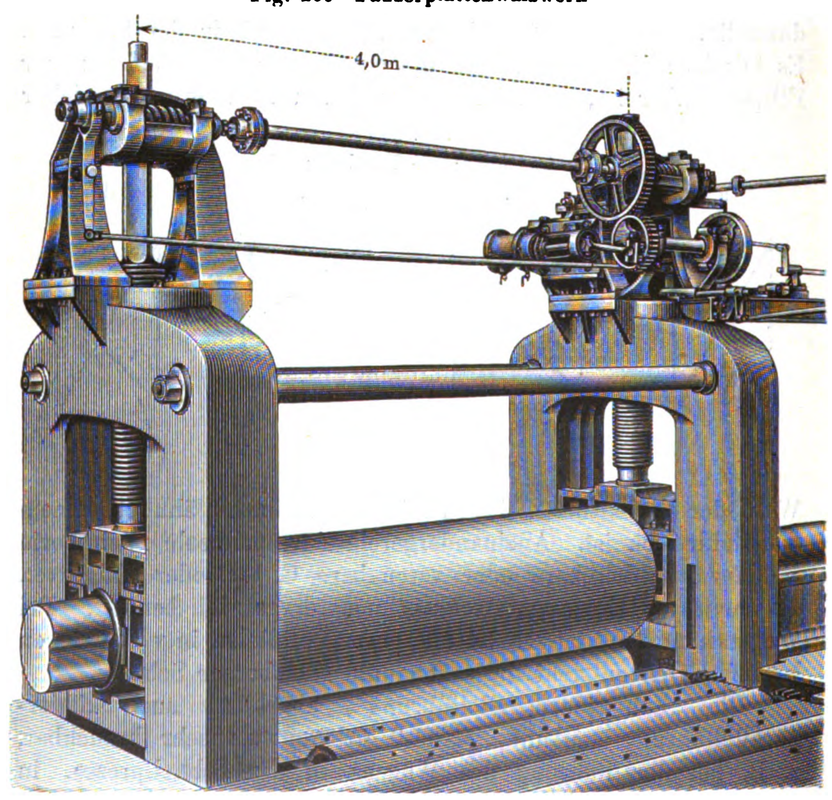


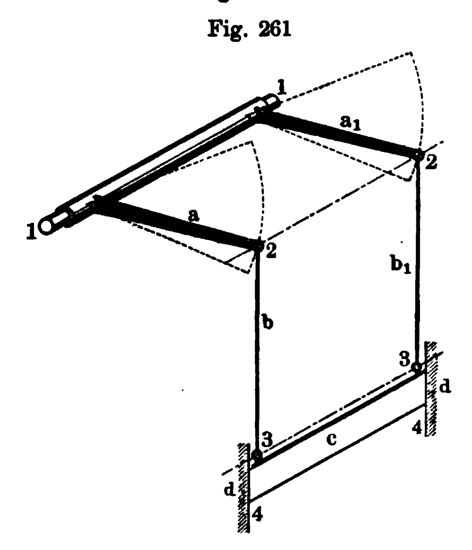
Fig. 260 Panzerplattenwalzwerk



Gleitung, die Drehfestigkeit der Rollenachse erzwingt gleichmäſsiges Vorschreiten auf beiden Seiten. In Fig. 259 b ist eine Räderparallelführung dargestellt, die bei der Tauschlägerei ähnlich wie das Kurbelgetriebe in Fig. 255 angewandt wird (Pfälzer Verfahren). Die Eckräder 1 bis 6 sind gleich gross, die Zahnräder können übrigens beliebig gross gewählt werden. Das Mittelrad *M* ist hier gleich den Eckrädern angenommen und steht fest, während der Rahmen sich um die Mittelachse dreht; alle Eckräder durchlaufen dann stets gleiche Winkel.

Mit „Schraubengetrieben“ lassen sich Parallelführungen gut herstellen. In grossem Maſsstab dienen solche in den Walzwerken für Panzerplatten; die üblichen Anstellschrauben der Walzenzapfen werden dann durch ein Getriebe zu genau gleichem Gang verbunden. Eine gewaltige Parallelführung dieser Art, angewandt in den Glasgow Steel Works, Wisham, stellt Fig. 260 dar. Sie wird durch eine besondere kleine Zwillingsdampfmaschine, welche oben auf dem einen Walzenständer sitzt, angetrieben. Jede Kurbelumdrehung des Maschinchens versetzt die obere Walze um $^1/_{600}$ Zoll oder $^1/_{24}$ mm. Die Walzenballen haben 38″ Durchmesser und 12′ Länge*).

Fig. 261



Die „Hebelparallelführung“, Fig. 261, ist für manche Fälle recht brauchbar. Der die Hebel verbindenden Achse ist eine recht grosse Drehungsfestigkeit zu geben, wenn die Führung genau sein soll.

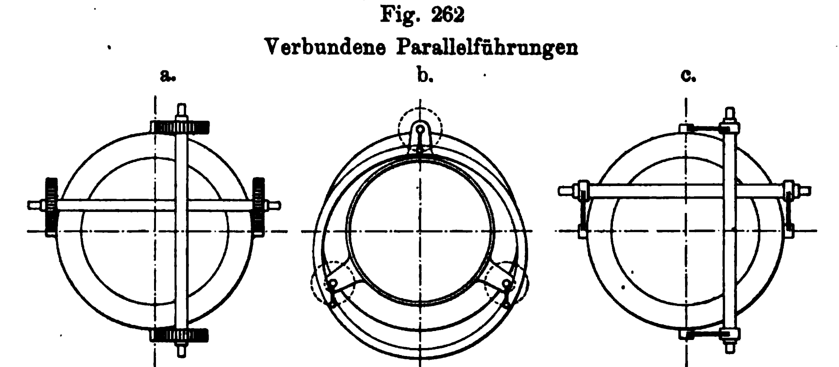
„Verbundene Räder-, Schrauben- und Hebelparallelführungen“ werden u. a. häufig an den ringförmigen Turbinenschützen

*) S. Engineering vom 14. Juni 1896.

benutzt, s. Fig. 262. Die dreischraubige Parallelführung unter b, von Cadiat, besitzt in sich eine Kurbelparallelführung zur gleich-

Fig. 262

Verbundene Parallelführungen



mäfsigen Drehung der Schrauben; sie lässt das Turbinenrohr im Grundriss völlig frei, was baulich ein Vorzug ist.

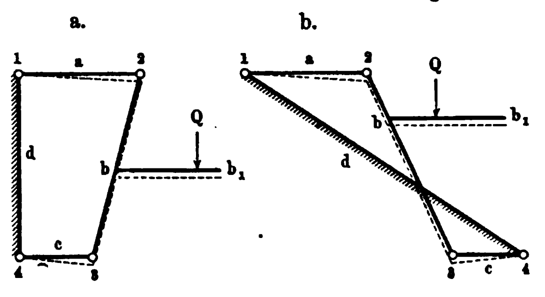
§. 47

Unvollkommene Parallelführungen

Unvollkommene Parallelführungen werden vor allem leicht aus der Kette (C_4'') oder Vereinigungen von solchen erhalten, wenn man von Stellungen ausgeht, in denen gegenüberliegende

Fig. 263

Unvollkommene Parallelführung



Glieder, nicht wie vorhin zweipaarig, sondern einpaarig parallel liegen, s. Fig. 263. Ist das Glied a in einer gewissen Lage $||c$, aber b nicht $||d$, so sind dennoch unendlich kleine Verschiebungen der Punkte 2 und 3 gleich gross, d. i. $adw = cdw'$, weil die unendlich kleinen Wege von 2 und 3, als rechtwinklig zu Parallelen gerichtet, auch parallel sind. Wegen dieser Gleich-

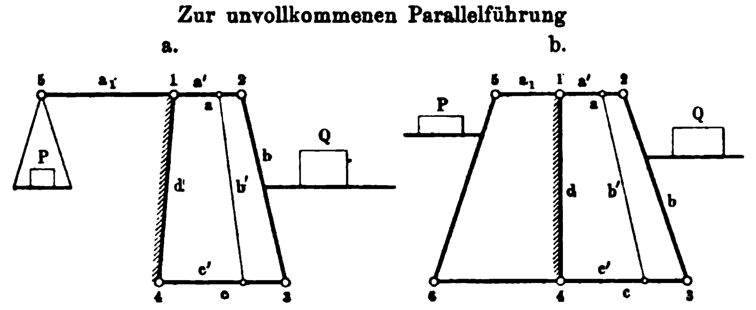
heiten sind aber auch die unendlich benachbarten Lagen des Gliedes b zu einander parallel. Daher kann der Mechanismus, der bei Stellung der Kette auf d entsteht, für ganz kleine Bewegungen als Parallelführung dienen und wird hierfür ungemein viel angewandt bei gewissen Bauarten der Waagen.

Wählt man nämlich die Aufstellung so — mittelst Lothes am Gestell —, dass die streng parallelen Stellungen von a und c waagerecht sind und verbindet mit dem Gliede b einen festen Arm $b_1 \parallel$ zu a und d, so sind dessen unendlich benachbarte Lagen b_1 zur Lage b wiederum parallel (vergl. Satz XVIII, S. 307). Uebt man daher einen senkrechten Druck Q auf den Arm b_1 aus, so ist die bei unendlich kleiner Fortschreitung $a\,dw$ durch Q ausgeübte Arbeit $Q a\,dw$ oder $Q c\,dw'$ stets von derselben Grösse, wo immer auch auf der Erstreckung des Armes b_1 die Last Q angebracht worden sei. Um die ausgeübte Arbeit zu messen, kann man an einer Verlängerung a_1 des Armes a, siehe Fig. 264, eine aus bekannten Einheiten allmählich zusammengesetzte Kraft P, ebenfalls senkrecht, anbringen und hat dann die Gleichung $P a_1\,dw = Q a\,dw$, oder:

$$\frac{Q}{P} = \frac{a_1}{a} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (33)$$

Die senkrechte Richtung der Kraft P erzielt man in vielen Fällen dadurch, dass man eine mit Gewichten von der Summe P belastete Schale am Endpunkt von a_1, d. i. an der Gewichtsseite, anhängt, s. Fig. 264a. Häufig aber wendet man auch an

Fig. 264
Zur unvollkommenen Parallelführung



der Gewichtsseite (C_4'')-Parallelführung an, um die Aufhängeketten zu vermeiden, s. Fig. 264b. Die Gelenke sollen wenig Reibung haben; deshalb führt man sie gewöhnlich als Schneidengelenke aus (vergl. Bd. I, S. 162) und hat auf deren Kraft-

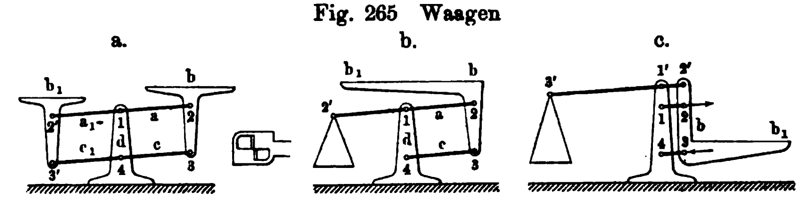
schlüssigkeit genau zu achten. Ihre Belastung muss man klein zu halten suchen. Zu dem Ende lässt man vielfach den zweiten Lenker c, s. Fig. 264 unter a wie unter b, auch einen Theil der Last tragen und verbindet ihn deshalb mit a durch eine besondere Koppel b'. Es ist einleuchtend, dass man dabei, um durch die zweite dabei entstehende Parallelführung die erste nicht zu stören, für die zu b' gehörigen Lenkerstangen nun zu setzen hat:

$$\frac{a'}{a} = \frac{c'}{c} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (34)$$

Es handelt sich hier, wie oben S. 303 beim Storchschnabel, Fig. 246, um zweifache Schliessung einer kinematischen Kette und diese muss aufs äusserste genau gemacht werden. Immerhin sind die vorstehenden geometrischen Beziehungen von ganz besonderer Einfachheit. Zu diesen führt auf kürzestem Wege die Kinematik, während die an dieser Stelle üblichen statischen Rechnungen sehr mühsam zu der Gleichung (34) führen. Zahlreiche Waagenbauarten lassen sich aus den aufgeführten Sätzen folgern, sind aber für sich entstanden; einige derselben seien angeführt.

Fig. 265 stellt unter a das Gliederwerk der sehr verbreiteten Roberval'schen Waage vor*); Lastschale und Gewichtsschale sind gleicharmig mit (C''_4)-Ketten parallel geführt. Unter b ist eine

Fig. 265 Waagen



Schwilgué'sche sogenannte Tischwaage dargestellt; ihre Gewichtsschale hängt wieder an Ketten. Denkt man sich eine Last auf die nach links ausgebaute Lasttafel bb_1 gebracht, so erkennt man sofort, dass der Lenker 4.3 auf Zug beansprucht wird. Bei Roberval dagegen kann man die Last sowohl rechts als links von der Mittellinie 2.3 auflegen; daher muss der Lenker 3.4.3' an allen drei Gelenkstellen mit Doppelschneiden, d. h. solchen von $\pm$-Richtung versehen sein, deren die Nebenfigur eine darstellt.

*) Sie wurde vor rund 250 Jahren von Giles Persone de Roberval (Name seines Geburtsortes), Professor der Mathematik am Collège royal in Paris, erfunden.

Hier zeigt sich, dass die anscheinende Einfachheit des Baues der Waage nicht vorhält, um so weniger als der Haupthebel bei 2 und 2′ gegabelt, auch bei 1 mit langer Achse versehen sein muss. Das gibt zusammen 12 Schneidenlagerungen statt deren 4 bei der alten Balkenwaage. Daraus erkennt man, wie gross der Werth sein muss, der von den Kleinhändlern auf die „Oberschaligkeit“ der Waage gelegt wird. Unter c ist die Waage von Georges skizzirt. Sie machte ihrer Zeit beträchtiges technisches Aufsehen wegen der scheinbaren Einfachheit, die sie im Vergleich mit der Quintenz'schen Waage, Fig. 267 b, darbot. Diese Einfachheit wird aber bei näherer Betrachtung völlig hinfällig, da die Lasttafel aus Eisen hergestellt werden muss, um ausreichend biegungsfest zu sein, ebenso das Gestell, auch die Lenker a und c doppelt ausgeführt sein müssen. Wegen des grossen waagerechten Zuges in 1.2 hat der Erfinder den Gewichtshebel, der senkrecht zieht, besonders ausgeführt. Das Verhältniss zwischen dem Arm 3′1′ des Gewichtes zu dem Arm 1′2′ der Last, Formel (33), nennt man die „Verjüngung“ einer derartigen Waage. Georges hatte 10fache Verjüngung angewandt; seine Waage ist rasch wieder ausser Gebrauch gekommen. Zu bemerken ist, dass in allen drei Fällen der Figur 265 die benutzten Parallelführungen ausnahmsweis zu den „vollkommenen“ gehören; im übrigen fallen sie unter Fig. 263 a und b. In den folgenden Beispielen dagegen finden die unvollkommenen Parallelführungen Anwendung.

Es könnte Bedenken erregen, dass man „unvollkommene“ Mechanismen zu Messungen verwendet, die sehr genau sein sollen. Allein letztere Bedingung können die „unvollkommenen“ Par-

Fig. 266

a. Falcot b. Pfitzer

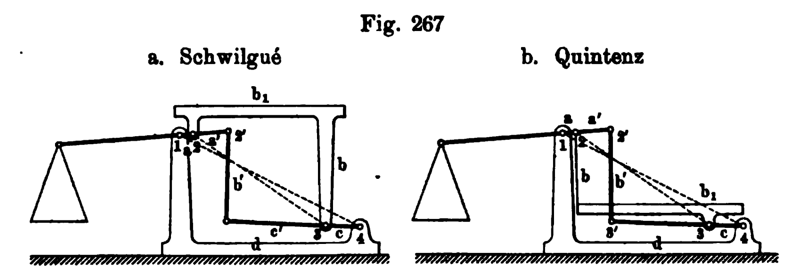
allelführungen dennoch erfüllen, da sie gerade in der Stellung des Einspielens des Waagebalkens, wo dw und dw' wirklich in Null übergehen, ganz genau sind, gute Ausführung als selbstverständlich vorausgesetzt.

Die Mühe, die man sich gegeben hat, die gleicharmige oberschalige Waage von den erwähnten seitlichen Zug- und Druckkräften zu befreien, zeigen die in Fig. 266 skizzirten Waagen von Falcot und Pfitzer. Letzterer legt übereinander, was ersterer untereinander legt; beidemal sind 14 Schneidengelenke angewandt gegenüber den 4 der alten Balkenwaage*).

Berühmt, könnte man sagen, sind die Waagen von Schwilgué und von Quintenz, die Fig. 267 nebeneinander zeigt. In beiden

Fig. 267

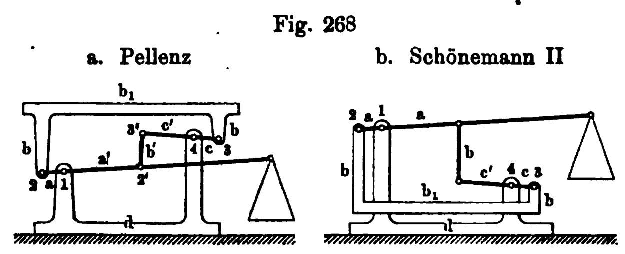
a. Schwilgué b. Quintenz



ist die Parallelführung der Lasttafel oder „Brücke" nach Fig. 263 b angeordnet, der Gewichtshebel nebst Schale wie bei Fig. 264 a angebracht, dazu auch die Koppel *b'*. Beide Waagen sind mit 10facher Verjüngung üblich. Sieht man genau zu, so erkennt man, dass die Quintenz'sche Waage, die die jüngere von beiden ist, sich als blosse bauliche Umänderung der Schwilgué'schen darstellt. Die Brücke bb_1 ragt bei Schwilgué nach oben, ist oberhalb des Gestängewerkes hingebaut, während sie bei Quintenz nach unten gedrängt ist. Für den praktischen Gebrauch ist letzteres

Fig. 268

a. Pellenz b. Schönemann II



ja sehr werthvoll; die Quintenz'sche Waage ist über die Welt verbreitet.

---

*) Neben Falcot hat in Frankreich Bélanger, und neben Pfitzer bei uns Kuppler sich einen Namen für die oberschaligen Krämerwaagen erworben.

Die (Dezimal-) Waage von Pellenz, Fig. 268 a, erweist sich bei schärferer Betrachtung als eine Umkehrung der Schwilgué-schen Fig. 267 a; was dort Gestell war, ist hier Brücke, was dort Brücke war, ist hier Gestell. Die Schwerkraft liess sich nicht umkehren, deshalb musste der Gewichtshebel nun entsprechend verlegt werden. Die Waage von Schönemann (II), Fig. 268 b, ist wieder nur eine bauliche Umänderung der Pellenz'schen zu nennen (obwohl sie älter ist); ebenso wie bei Quintenz die Schwilgué'sche Brücke herabgedrängt wurde, so ist bei Schönemann die Pellenz'sche Brücke herabgedrängt.

Eine andere Schönemann'sche Waage (I) ist in Fig. 269 a dargestellt. Hier sind wieder beide Schalen, die für Last wie die für Gewicht, mit (C_4'')-Ketten parallel geführt und zwar nach der theoretischen Fig. 264 b. Unter b ist sodann die Milward-

Fig. 269

a. Schönemann I b. Milward

sche Dezimalwaage dargestellt. Sie machte in ihrer kurzen Blütezeit (1862) Aufsehen, da sie nach einem ganz neuen Grundsatz gebaut schien, nämlich ohne Befolgung des Satzes von Gleichung (34); die zweite Verbindung zwischen a und c durch die Koppel b' war weggelassen, im übrigen die Anlage nach Fig. 267 b festgehalten. Die erwähnte Weglassung aber führte, wie aus den punktirt eingetragenen Linien folgt, eine mächtige Druckbelastung der beiden Gelenke des Gliedes a und eine sehr störende schiefe Belastung der Gelenke 3 und 4 herbei, was alles zusammen die Genauigkeit der Waage rasch zerstörte*).

*) Aufmerksam sei noch gemacht auf die Emery'schen Waagen, die in den Vereinigten Staaten in bewährtem Gebrauch sind. Bei ihnen sind alle Gelenke im Hebelwerk als Blattgelenke (s. Fig. 107 d) ausgeführt, während die Uebertragung von der Brücke zum Hebelwerk durch Flud-

§. 48

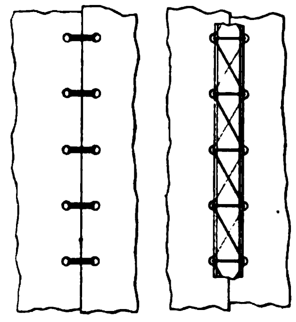
Leitungsgetriebe aus Zugelementen

Wir haben bisher bei der näheren Betrachtung der Leitung wesentlich nur Mechanismen aus starren Elementen besprochen und darin eine grosse Mannigfaltigkeit vorgefunden; weniger formenreich ist die Leitung bei den bildsamen, d. i. den Zug- und den Druckelementen, indessen nicht weniger wichtig.

Leitung von und mit Zugelementen. Diese ist so alt wie die Kultur selbst; denn der Mensch verfiel schon ganz früh auf die Kräfteübertragung mittelst Sehnen und Fasern bei Kleid, Geräth, Waffe und Behausung.

Das Binden, nämlich Vereinigen mittelst geeigneter Zuggebilde, war so früh schon im Gebrauch, dass z. B. die deutsche Sprache für aneinander befestigen nur das einzige Zeitwort „verbinden“ besitzt*); nennen wir doch auch den Dachstuhl ein Dachgebinde, das Dachwerk den Dachverband usw. Die Maori auf Neuseeland, die noch heute ihre Holzhäuser in althergebrachter Weise bauen, befestigen die senkrechten Bretter, die die Wände bilden, durch Nähen aneinander, s. Fig. 270**); auch die Planken an ihren Booten nähen sie in ähnlicher Weise auf die Ränder des gehöhlten Baumstammes, der das Unterstück bildet***);

Fig. 270
Bretterverbindung



stränge mit Kolben geschieht (vergl. S. 273). Hierdurch werden die Gelenkreibungen soviel wie gänzlich beseitigt. S. Sitzungsber. d. Vereins f. Gewerbfleiss 1884 S. 58 und Glasers Annalen XVI, 1885 S. 21.

*) Das geht noch weiter hinauf; auch im Sanskrit heisst festmachen *bandh*, befestigt *baddh*, binden aber *bandh*, auch *abandh*.

**) S. Reuleaux, Ausflug nach Neuseeland, Westermanns Monatshefte 1885 April, S. 64. Um auf Anfragen, die mir geworden sind, zu antworten, bemerke ich, dass die gewöhnlichere, sehr feste Naht mit zwei Fäden genäht wird, oder mit einem, wenn man vom Ende aus zurücknäht. Ich habe oben die beiden Fäden durch Dicke und Dünne der Striche unterschieden. Auf der Innenseite erscheinen drei Querfäden, auf der äusseren einer.

***) Modell in meinem Besitz, mehrere solche im Museum für Völkerkunde in Berlin.

ebenso ist in der ganzen Südsee, bis nach Indien hin, das Auslegerboot (Katamarang) auf diese Weise beplankt. Die Nähtlinge dazu liefert auf Neuseeland der ungemein feste dortige Flachs, bei Anderen thun es andere Pflanzen. In tropischen Gegenden sind die Hängebrücken schon seit frühester Zeit im Gebrauch, da in ihnen Schlingpflanzen treffliche natürliche Taue liefern. Noch zahlreiche andere „Bindungen“, wie Korb, Fass, Takelwerk usw. liessen sich anführen, alle den Aufbau, die Bildung einer Ganzheit aus Theilen vermittelst der Zugelemente oder ganz aus solchen darstellend. Diese tiefe und weite Verbreitung und Verwendung der Zugelemente lässt es erwünscht erscheinen, auch für sie und ihre zahlreichen Ausführungsarten einen kurzen Gemeinnamen zu bilden, wie wir oben, S. 157, für die Druckelemente thaten. Ich empfehle dafür, vor allem für unsre gegenwärtigen Untersuchungen, das Wort das Track, Mehrzahl die Tracke *). Den Faden, die Schnur, das Seil, das Tau, das Band, die Gurte, den Riemen, das Tuch (Lauftuch), den Draht, die Kette, auch die mit Bechern und die aus Latten, können wir ihrer hervorragenden gemeinsamen Eigenschaft, wesentlich nur Zugkräften zu widerstehen, als Tracke zusammenfassen.

Gehen wir von der Zusammenfügung mittelst der Tracke zum Bewegungszwang, den sie vermitteln, über, so bemerken wir z. B., dass das Pendel von S. 6 im Kreisbogen schwingt, also sich in einer geometrisch bemerkenswerthen Bahn bewegt, ganz allein vom Faden gehalten, den die Schwere des Körpers kraftschlüssig spannt. In der Schleuder wird derselbe Bewegungszwang gesteigert und so lange fortgesetzt, bis das Schleudergeschoss eine grosse Umlaufschnelle erlangt hat, worauf es losgelassen wird. In dem Bogen, dann der Armbrust und endlich dem Katapult überträgt ein Track die Wurfkraft auf den Pfeil; im Katapult werden ausserdem noch die beiden Arme durch gewrungene Stränge, Tracke, s. Fig. 271, geschnellt **). In diesen und ähn-

Fig. 271



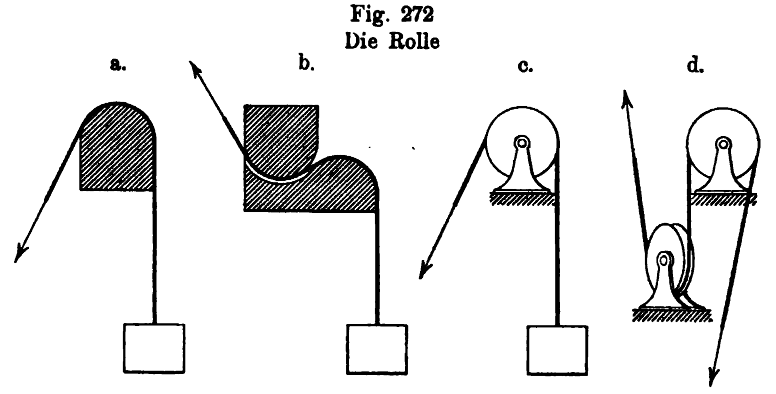
*) In dem niederdeutschen *trecken* und niederländischen *trekken* für ziehen, dänisch *trakke*, *drage*, schwedisch *draga*, liegen germanische Formen vor, die die Wahl von „Track“ für Zugelement zu rechtfertigen vermögen.

**) Vergl. im I. Band, S. 217.

lichen Fällen findet die erzwungene Bewegung nicht in der Längsrichtung des Trackes statt; soll aber dies geschehen, so kann durch Leitung des Trackes ihm die sehr wichtige Eigenschaft verliehen werden, dass mit ihnen Kräfte von irgend einer Richtung in einer gewünschten anderen Richtung zum Wirken gebracht werden können.

Die Leitrolle. Das fragliche Leitungsmittel ist die „Rolle", Fig. 272, entweder wie unter a und b als einfacher oder mehrfacher Sattel, oder wie unter c und d als Drehkörper mit konaxialen Zapfen und deren Lagerung. Die sattelförmigen Leitrollen kommen in der Natur im thierischen Körper vielfach vor

Fig. 272
Die Rolle



und finden auch in der Technik zahlreiche Anwendungen; ihr Reibungswiderstand ist verhältnissmäſsig grösser als der bei den Zapfenrollen. Durch absichtliche Vergrösserung des Umschlagwinkels α der Sattelrolle, die man ja auch völlig rund herstellen kann, lässt sich dieser Widerstand bis zur Bremsung steigern, wie z. B. bei den Pollern am Schiffsbord und an Landungsstellen, auch bei den waldhornförmigen Bremsröhren der Feuerwehrausrüstung geschieht.

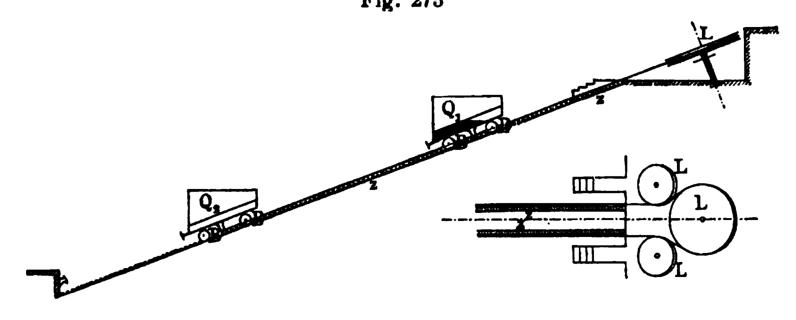
Die Zapfenrollen gestatten, die Trackleitung mit ganz geringem Reibungswiderstand vorzunehmen. Zwei Rollen sind ausreichend für jede gewünschte Richtungsänderung der Zugkraft. Eine hübsche Anordnung von Leitrollen zeigt weiter oben Fig. 137 bei a_1 und a_2.

Auf diese Dinge hier aufmerksam zu machen, nämlich im Zusammenhang, obgleich sie im Einzelnen bekannt sind, ist wichtiger, als es vielleicht scheint, einmal, weil wir an ihnen die allmähliche Entwicklung kinematischer Gedanken erkennen lernen,

sodann aber auch, weil wir uns klar machen sollten, dass die Gesetze der Mechanik in allen kinematischen Gebilden, seien sie aus starren, seien sie aus bildsamen Elementen hergestellt, ganz gleichmäfsig zur Geltung kommen. Dass gemeiniglich die erwähnten Vor- und Einrichtungen nur vereinzelt behandelt werden, oft nur halb und halb theoretisch, dass bei der Mechanik der Rollen, fester und sogenannter loser, ein theoretisches Alterthümlein stets wieder vorgezeigt wird, als ob es sich darin um Anwendungen des „Hebelgesetzes“ handle*), während der Vergleich obiger Figuren a und b das sofort als hinfällig erkennen lässt, dies alles widerspricht durchaus dem gesunden heutigen Streben nach reinen Grundsätzen. Die wirklich wissenschaftliche Betrachtung auch des scheinbar Kleinen in Strick, Band, Faden, Faser erhöht unmittelbar das Verständniss für das Bedeutende, das uns z. B. entgegentritt, wenn wir die grossartigen Brückenbauten aus Seilen, die Tauschleppanlagen auf Bahnen und Flüssen, die Spinnerei- und Webereiindustrie mit ihren ungeheuren Betrieben nebeneinander betrachten: alles zusammen Anwendungen der Zugelemente oder Tracke und ihrer einfachen kinematischen Gesetze.

Aus dem schlichten Trackgetriebe von Fig. 272 c, wenn bei ihm die Seilendigungen in Schienen geleitet werden, ist die Riggenbach'sche Seilrampe, Fig. 273, gebildet; die Lasthebung

Fig. 273

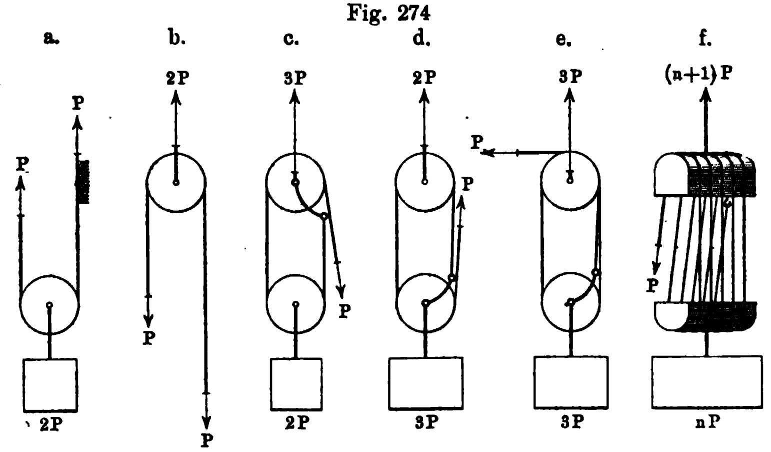


*) Vergl. Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., S. 403, wo ich gezeigt habe, dass obendrein das sogenannte Hebelgesetz nur eine besondere Form des Parallelogrammsatzes ist. Die bombastische Auffassung, dass im „Hebel“ ein eigenes „Gesetz“ stecke, hat in unklaren Köpfen schon viel Schaden angerichtet. Noch ein anderes Alterthümlein habe ich in genanntem Handbuch, S. 413, aber auch schon im I. Bande dieses Werkes, S. 599, kenntlich gemacht, dasjenige, dass die Reibung nur Bewegung verhindern, nicht solche erzeugen könne. Auch diese Verkehrtheit hält sich wohl noch lange als vermeintlich den Reibungs-„Gesetzen“ anzugehörend.

erfolgt vermittelst Wasserbelastung des abwärts gehenden Fahrzeuges. Die mittelste der drei Leitrollen ist mit so grossem Umschlagwinkel ausgeführt, dass das Seil auf ihr nicht rutschen kann, wenn ihre Achse gebremst wird *).

Die bekannte und uralte „lose Rolle“, Fig. 274 a, ist nichts anderes, als der durch kinematische Umkehrung der „festen Rolle“, Fig. b, erhaltene Mechanismus, wohl das älteste Beispiel

Fig. 274



der unbewusst vollzogenen kinematischen Kettenumkehrung **). Der Flaschen-, Kloben-, Taljenzug, Fig. e bis f, besteht aus einer Folge von „losen Rollen“; seine kinematische Einfachheit wird aus Fig. f, wo die Zapfenrollen durch Sattelrollen ersetzt sind, klar. Der Flaschenzug Fig. d ist die kinematische Umkehrung desjenigen unter c, wie auch die beigeschriebenen Kraftgrössen erkennen lassen; ersterer ist zweizügig, letzterer dreizügig ***). Die gewöhnliche Schnalle ist eine (zweizügige) lose Rolle, daher so wirksam; Schnürungen an Schuhen und Miedern entsprechen Fig. f, desgleichen die Naht.

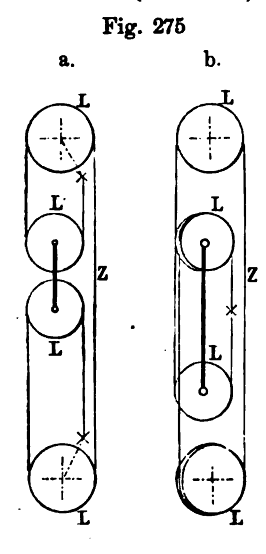
*) Vortreffliche Ausführungen der Riggenbach'schen Rampe hat die Esslinger Maschinenfabrik in grosser Anzahl geliefert, s. auch Konstrukteur, IV. Aufl. S. 693.

**) Im I. Bande, S. 278, ausführlich dargelegt.

***) Unser gewöhnliches Verfahren, vom zweirolligen, dreirolligen usw. Flaschenzug zu sprechen und durch die 2 und die 3 das Uebersetzungsverhältniss ausdrücken zu wollen, ist nicht ausreichend, wie der Vergleich von Fall c und d zeigt. Die Alten verfuhren genau, indem sie den Blockzug unter e *dispastos* (zweizügig), die unter d und e *trispastos*, weiterhin *tetraspastos* usw. nannten, was die Römer von den Griechen annahmen. Siehe Vitruvs Baukunst, X. Buch II. und III. Kapitel.

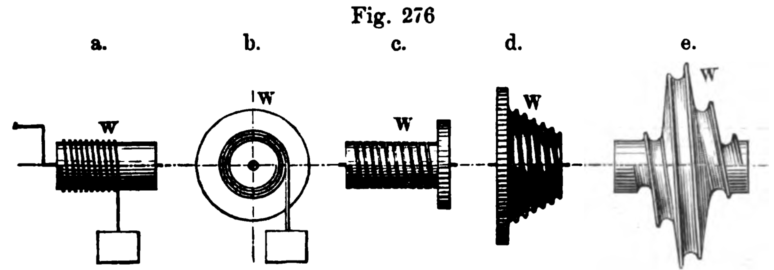
Die Kraftschlüssigkeit, die dem gewöhnlichen Flaschenzug anhaftet (s. S. 163) und ihn nach §. 35 als Geräth erkennen lässt, kann durch die auf S. 175 besprochene „Gegendopplung“ beseitigt werden. Fig. 275 stellt zwei Ausführungsarten der Gegendopplung dar. Auch hier beruht die Wirkung auf der Leitung des Trackes, weshalb wir überhaupt den vorliegenden Flaschenzug einen Leitungsflaschenzug zu nennen haben.

Fig. 275



„Wicklung.“ Die Leitrolle kann auch so ausgebildet werden, dass sie mehrfach mit Track umlegt oder „bewickelt“ werden kann; die hierfür gestaltete Rolle heisst dann Trommel, auch Spule. Fig. 276 stellt fünf verschiedene Wicklungsarten dar, bestimmt für Seil, Band, Schakenkette, Gelenkkette, Treibseil. Das Track ist jedesmal mit einem Zopfende an der Trommel befestigt gedacht. Mehrfache Bewicklungen in allen fünf angeführten Formen kommen im Spinnfach vor und sind daselbst zu

Fig. 276



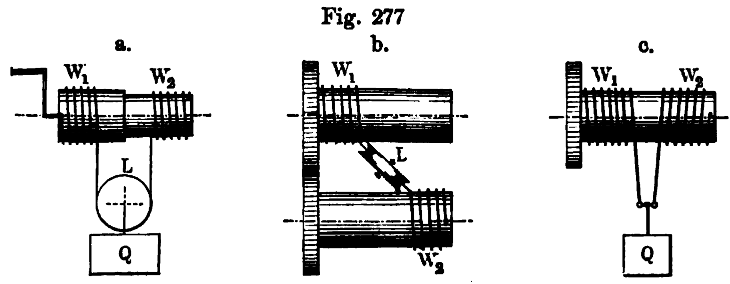
ausserordentlich hoher und feiner Ausbildung gebracht worden, zum Theil Meisterstücke kinematischer Behandlung.

„Kurvenführung“ mittelst Wicklung haben wir im ersten Abschnitt, S. 78 ff., in einer Reihe von Beispielen bereits besprochen; die Wicklungen waren dort kraftschlüssig gebraucht, würden sich aber auch paarschlüssig herstellen lassen.

„Geradführung“ mittelst Wicklung findet in den drei Fällen statt, die Fig. 277 (a. f. S.) versinnlicht. Im Falle a, der die bekannte „chinesische Winde“ vorführt, bewegt sich der Mittelpunkt der Lastrolle L in einer schräge steigenden geraden Bahn, deren

Abweichung von der Senkrechten allerdings nicht Zweck ist, sondern im Mechanismus liegt; wohl aber ist die senkrechte Lage

Fig. 277

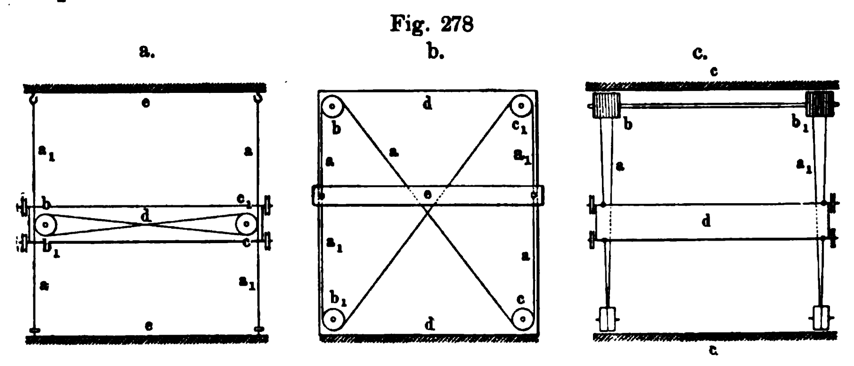


der geraden Bahn Zweck bei den Fahrkranwinden unter b und c, welche letztere vom Verfasser angegeben worden ist.

Geradführung durch stählerne Blattgelenke, also Tracke, hat Emery an seinen auf S. 321 erwähnten ausgezeichneten Waagen in mehreren Formen angewandt.

Drei „Parallelführungen“ aus Zugelementen stellt Fig. 278 dar. a zeigt die schon bekannte Wagenführung am Mule-Spinnstuhl von Parr-Curtis und Anderen. Der meistens sehr

Fig. 278



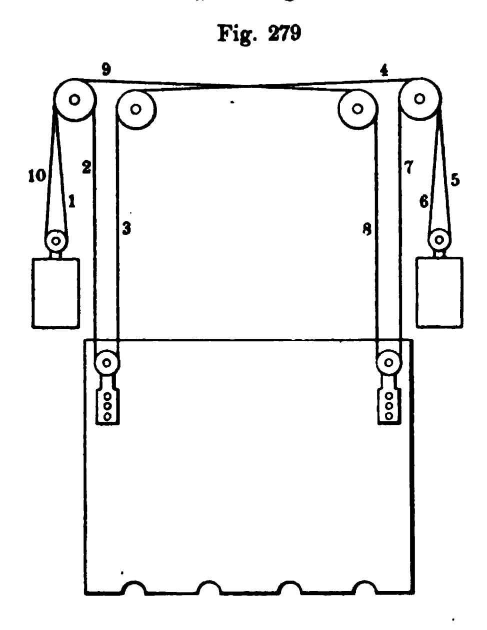
breite Wagen d fährt mit seinen vier Rillenrädern auf schmalen Schienen, die hier weggelassen sind, und wird durch die Schnurleitungen $a\,b\,c\,a$ und $a_1\,b_1\,c_1\,a_1$ gegen das ruhende Gebilde e parallel geführt. Die Rollen b und b_1 sowie c und c_1 sind der Bequemlichkeit wegen konaxial aufgestellt, laufen aber entgegengesetzt um; man könnte ihre Achsen auch auseinanderrücken. Dies ist geschehen in Theodor Bergners Parallelführung, Fig. 278 b, bestimmt zur Leitung der Reifsschiene an stehenden grossen Zeichenbrettern, wie solche in grossen Maschinenfabriken jetzt zum Wohl der mit dem Entwerfen beschäftigten Ingenieure

eingeführt sind. Der Mechanismus unter b ist eine Umkehrung desjenigen unter a; das bei letzterem ruhende Glied *e* ist hier das bewegliche *).

Die Parallelführung unter a hat Towne sehr glücklich an Laufkranen angewandt, die über lange Arbeitssäle hinzuführen sind **) (vergl. Fig. 288).

Für den Spinnwagen wendet man jetzt vielfach die Parallelführung von Dobson & Barlow, Fig. 278 c, an. Während vorhin die Rolle nur „Leitung" bewirkte, dienen hier zwei Wicklungen an den Trommeln *b* und b_1, eine Auf- und eine Abwicklung, zum Treiben und zugleich Parallelführen des Wagens; die ihnen gegenüberliegenden Rollen an *c* sind nur Leitrollen. Die Seilenden treten in Bohrungen in den äussersten Schraubengängen der Trommeln *b* und b_1 in diese hinein und sind daselbst befestigt; die diese Trommeln tragende Welle ist so stark gebaut, dass sie, wie oben bei der Hebelparallelführung, keine störende Verdrehung zwischen *b* und b_1 entstehen lässt.

Fig. 279



Für eiserne Hebethüren hat die Straight-Line-Engine-Company die hübsche Trackparallelführung, Fig. 279, eingeführt ***). Die Kette 1.2.3...10 ist endlos; die scheinbaren „losen" Rollen dienen nur zur Ausgleichung der Kräfte.

Auch für grosse Lasten hat man Trackgetriebe zur Parallelführung benutzt, so schon 1840 bei den Green'schen Trogschleusen des Grand-Western-Kanals in England, von denen Fig. 280 eine

*) Die Rollen liegen auf der Rückseite des Zeichenbrettes, um dessen Ränder herum die Schiene in U-Form herumgreift.

**) S. Henry Towne, Treatise on cranes, Stamford 1883, S. 54.

***) S. Grimshaw, Shop Kinks, Neuyork 1896 S. 196.

versinnlicht. Drei grosse Rollen auf einer und derselben Welle, belegt mit Ketten als Zugelementen, leiten mit letzteren die Tröge c_1 und c_2 parallel. In diese Tröge fahren die Schiffe, die gehoben oder gesenkt werden sollen, nach Oeffnung der Endthüre hinein, werden dann mittelst Wasserbelastung befördert

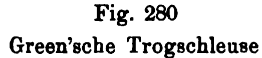
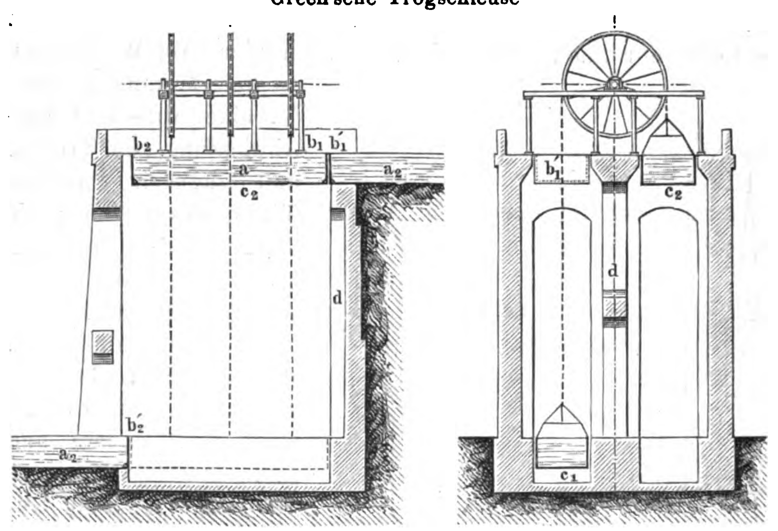


Fig. 280
Green'sche Trogschleuse



und fahren darauf wieder aus. Hier ist Kraftschluss angewandt, reicht aber vollständig aus, da der Schwerpunkt des Anhanges immer genau in der Mitte des Troges liegt. Die Drehungsfestigkeit der Welle ist es, wie bei der Hebelparallelführung Fig. 261, was gleiche Fortschreitung aller drei Ketten sichert.

Eine der vorstehenden nahe verwandte Trackparallelführung ist in dem Querschlipf, der 1894 in Rouen in Thätigkeit kam*) und den die Figuren 281 bis 283 in den Hauptzügen darstellen, zur Anwendung gekommen. Die Helling liegt längs des Ufers und steigt bei 51,3 m Bahnlänge 9,5 m auf. Die Schiffswiege wird hier ins Wasser gleiten gelassen, das zu dockende Schiff darüber gefahren und beide zusammen querschiffs aufgezogen. Die

---

*) S. Oppermann, Nouvelles annales de la Construction 1894, S. 183. Einen mächtigen, von C. Hoppe mit hydraulischer Schleppvorrichtung ausgerüsteten Längsschlipf hat unsre Kaiserliche Marine auf der Werft in Danzig 1885 vollendet.

Wiege läuft auf einem Rollenboden, sodass an Nebenwiderständen wesentlich nur die wälzende Reibung zu überwinden ist.

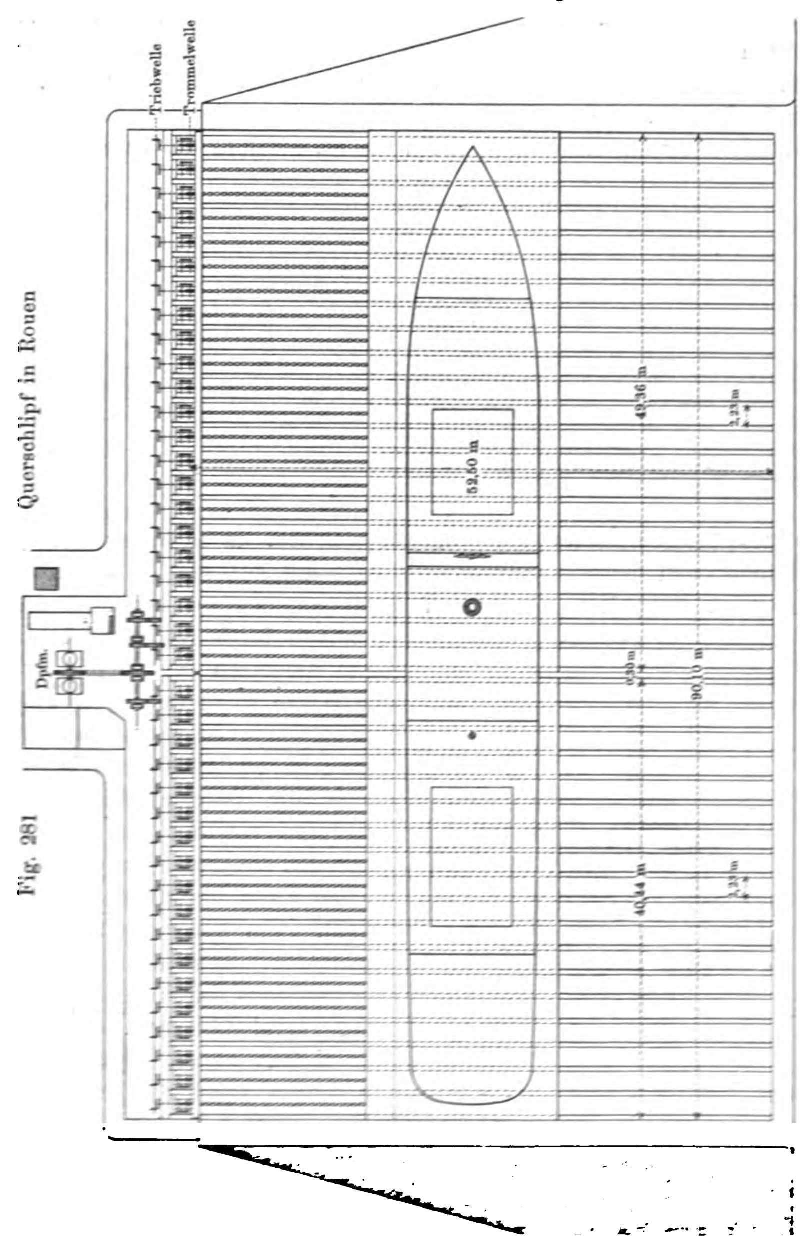
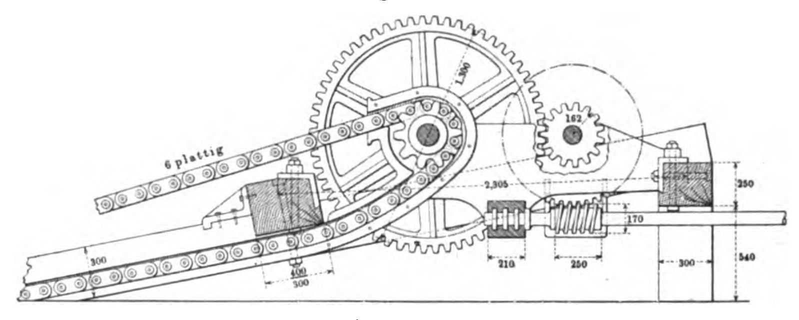


Fig. 281 Querschlipf in Rouen

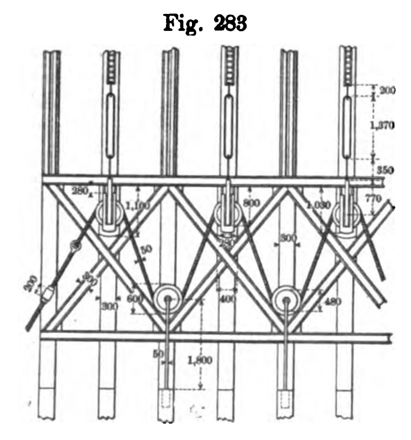
Das Aufziehen geschieht mittelst 40 schwerer stählerner Gelenkketten, deren 10zähnige Trommelräder von einer gemeinsamen Triebwelle aus durch Dampfkraft bewegt werden, s. Fig. 281 (a. v. S.). Auch bei dieser Parallelführung ist Kraftschluss benutzt, und zwar mit ganz besonderer Vorsicht. Der Erbauer, Ingenieur Labat, hat nämlich, wie Fig. 283 erkennbar macht, die Zugkette nicht unmittelbar an die Wiege greifen lassen, sondern die Vermittlung

Fig. 282



eines Ausgleichsseils eingeschaltet, welches, da es seiner ganzen Länge nach dieselbe Anspannung hat, die auf die Ketten kommenden Zugkräfte alle gleich gross zu machen bestimmt ist.

Fig. 283



Dennoch bleibt es erforderlich, beim Aufsetzen des Schiffes auf die Wiege so zu verfahren, dass der Schwerpunkt desselben recht genau in die Mitte der Wiegenlänge fällt. Denn geschieht dies nicht, so entsteht ein Kräftepaar, das die Wiege aus der parallelen Lage heraus zu drehen strebt. Um auch das noch zu vermeiden, könnte man den Mechanismus durch Gegendopplung vervollständigen, nämlich alle Ketten unten über Rollen und von da wieder an die Wiege zu führen, vergl. S. 175. Dann würde auch das geringste Schiefstellen der Wiege ausgeschlossen sein. Man verfährt aber beim Aufsetzen des Schiffes vorsichtig so, dass ein Schwerpunkt an die richtige Stelle kommt. Zwei andere Querschlipfe hatte Labat vor dem von Rouen schon

errichtet, einen in Bordeaux, den anderen in Futschëu in China; die Erfahrungen an beiden sind in Rouen verwerthet worden.

Auch bei der Trogschleuse kann man statt Green's senkrechter Bewegung die schräge Bewegung mit Zugparallelführung benutzen.

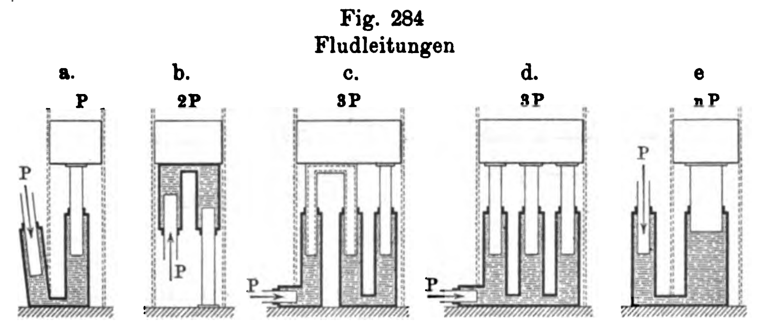
§. 49

Leitungsgetriebe aus Druckelementen

Offene Rinnen, Gräben, Kanäle, zu denen die Natur überall Vorbilder geliefert hatte, waren die ältesten machinalen Fludleitungen, vergl. S. 163; nach ihnen kam man erst zum geschlossenen Rohr für Wasser, für Luft (am Blasbalg) und, bei wachsender Zahl der Verwendungen, überhaupt für Flude. Gibt man einem Fludstrang noch die festen Endigungen, als die wir oben, S. 272, die Kolben erkannten, so kann man leicht mit ihnen Leitwerke bilden. Sie theilen mit den Leitgetrieben aus Zugelementen die Eigenschaft, dass mit ihnen Kräfte von irgendwelcher Richtung in jeder gewünschten anderen Richtung zur Wirkung gebracht werden können (s. S. 324).

Die grossartigste Benutzung der Röhren geben die Rohrnetze ab, die unser Jahrhundert in den Städten in den Boden versenkt hat, eine Kulturleistung ersten Ranges; Wasser, Gas und Luft werden durch sie an bestimmte Stellen geleitet, meistens zu blossem Ausfluss, vielfach aber auch zu mechanisch-technischen

Fig. 284
Fludleitungen

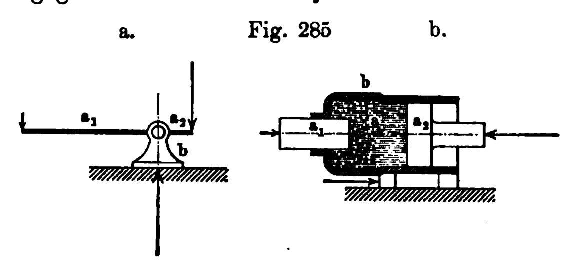


Kraftäusserungen. Einige Beispiele von bemerkenswerthen Fludgetrieben, die auf blosser Leitung beruhen, stellt Fig. 284 dar. a Wasserdruckwerk zur Senkrechtförderung einer Last Q. Die beiden Kolben sind von gleichem Querschnitt gedacht, daher

Druck P bei Vernachlässigung der Reibung $= Q = P$. Die kinematische Kette scheint viergliedrig, erweist sich aber bei schärferer Betrachtung als bloss zweigliedrig, d. h. **als ein Elementenpaar aus Wasserstrang und Rohr bestehend**, da die Kolben zum Wasserstrang gehören. Vergleicht man nunmehr die Einrichtung mit der unter Fig. 272 a, so erkennt man die gleiche Bildung, nur dass an die Stelle eines Tracks ein Flud getreten ist: dort Track mit Leitrolle, hier Flud mit Leitrohr. Es bietet sich daher der Name hydraulische Rolle dar; besser aber wird sich, da wir jedenfalls für die als einfach erkannte Sache auch einen einfachen Namen haben sollten, die Bezeichnung hydraulischer Hebel, Wasserhebel, Fludhebel eignen. Denn die beiden Belastungsstellen mit ihren um 160° verschiedenen Bewegungsrichtungen sind begrifflich den Armen eines Hebels vergleichbar.

Bleiben wir hierbei, so ist die Einrichtung unter b ein loser Wasserhebel, entsprechend der losen Rolle, kinematische Umkehrung der Einrichtung a für den Fall des Richtungswechsels um 180° statt 160°. c Verbindung der Fälle a und b; die drei Lastkolben gleich, die Last Q also auf drei gleiche Wasserstränge vertheilt, entsprechend dem dreizügigen Flaschenzug Fig. 274 e. Beachtet man aber noch, dass das Wesen der Flude auch gestattet, ohne Umweg den Wasserdruck unter alle drei Kolben zu bringen, wie in Fig. d, so wird auch klar, dass man die drei Kolben in einen einzigen zusammenziehen kann, wie unter e angegeben und in der hydraulischen Presse üblich ist.

a. Fig. 285 b.



Die Einrichtung e ist aber nach dem Obigen ein ungleicharmiger Wasserhebel, also ein Elementenpaar, bestehend aus einem Flud und einer Kapsel, da die Kolben a_1 und a_2 nur die festen Endigungen des Fludstranges sind. So gut wie der Zapfenhebel Fig. 285 a ein mit seinem Lager gepaartes Element ist, das von zwei Kräften ergriffen wird, so hier der mit seiner Kapsel ge-

paarte Fludstrang, Fig. 285 b. Die zahlreichen Anwendungen, die Tweddell und Andere von dieser Einrichtung gemacht haben, treten uns in diesem Lichte in ganz besonderer Einfachheit entgegen *). Aus diesen Bemerkungen gehen die Kolben aufs neue und nachdrücklich als echte Theile der durch sie abgeschlossenen Fludstränge hervor, bei denen die wirksamen Querschnitte gleich sind den Kolbenquerschnitten.

Kurvenführung und Geradführung, die bei den starren Elementen und den Tracken einen so grossen Raum einnehmen, kommen auch bei den Fluden, aber nur in ganz wenig Formen zur Anwendung, z. B. in den Formen des Schiffssteuerruders.

„Parallelführungen“ aus Fluden kommen wesentlich nur für grosse Kräfte zur Anwendung, namentlich wiederum bei Schiffsdocken. Das „Trockendock“ mit seinem abschliessbaren und entwässerbaren Becken ist ja zweifellos die bequemste Einrichtung zum Trockenlegen von Schiffen; aber es ist auch die weitaus kostspieligste, weshalb man mancherlei Bauten, die es ersetzen sollen, schon ausgeführt hat. Ausser den früher besprochenen gehören dazu die oben erwähnten Schlipfe, Quer- und Längsschlipf, bei denen das Schiff schräg bewegt wird. Senkrechte Bewegung ist aber auch mehrfach angewandt. Schon 1862 war eines der Victoriadocke in London als hydraulisches Hubdock, nämlich so eingerichtet, dass eine schmiedeiserne kastenförmige Wiege, über die das Schiff hingefahren wurde, mittelst Wasserdrucks durch 12 bis 32 Tauchkolben aus dem Wasser gehoben und später wieder in dasselbe eingesenkt wurde. Die Parallelführung vollzog sich unter Kraftschluss, indem das Schiff, um das vorhin erwähnte Kräftepaar zu vermeiden, mit seinem Schwerpunkt recht genau in die Mitte der Wiege gesetzt ward. Die Kolbenrohre an jeder Seite waren durch ein gemeinsames Leitungsrohr verbunden; der Gang schien gut. Völlig befriedigend mag aber der Betrieb auf die Dauer nicht gewesen sein, da die Bauart sich nicht verbreitete. Neuerdings ist indessen der Grundgedanke des hydraulischen Hubdocks wieder aufgenommen worden und in neuer Form zur Ausführung gelangt, dies zwar in grossem Maſsstab und mit ausgezeichnetem Erfolg. Das fragliche Dock steht seit 1887 in San Francisco im Betrieb

*) Ueber gleicharmige Wasserhebel an Schachtgestängen, siehe Konstrukteur, IV. Aufl., S. 873.

und ist entworfen von dem schottischen Ingenieur Dickie und ausgeführt von den *Union Iron Works* daselbst für den eigenen Gebrauch.

Die Wiege des Docks ist ein reiner, nicht schwimmbarer Trägerbau, hat 436,5′ Länge und 65′ 7″ Breite — 133 auf 20 m *) — und wird durch 36 Tauchkolben von 780 mm Durchmesser unter Vermittlung von „losen Rollen“, die die Schnelle verzweifachen, getragen, s. Fig. 286. Es sind also Zugelemente zu Hülfe genommen, und zwar in Form von 8 Stück zweizölligen Stahlseilen auf jeder der Rollen, die ihrerseits 6′ oder 1,83 m Höhe haben. Der Wasserdruck

zum Heben der leeren Wiege beträgt rund . . . 18 at,
zum Heben der vollbelasteten Wiege beträgt rund 83 at;
die grösste zulässige Belastung beträgt . . . . 6000 t;
Hub der Kolben $14^1/_2$′ oder . . . . 4,4 m,
Hub der Wiege 29′ oder . . . . 8,8 m.

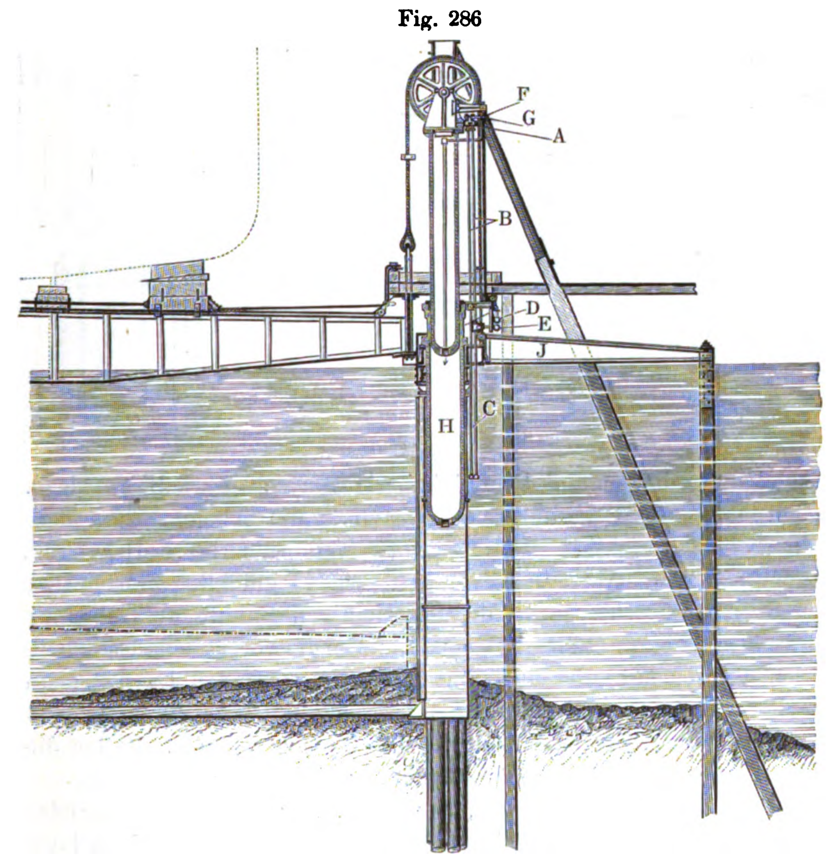
Das Presswasser wird durch Pumpensätze einem Niederdruck- und einem Hochdruckhalter geliefert. Sehr gut durchgeführt ist die Parallelführung. An jedem Kolbenrohre geschieht nämlich die Wasserzuleitung durch eine Stellwerksteuerung **), deren Ventil bei A, Fig. 286, durch eine Triebwellenleitung mittelst einer leichten stehenden Schraube und deren Mutter G geöffnet und alsbald durch den aufsteigenden oder niedergehenden Kolben, der den Ventilkasten hebt oder senkt, wieder geschlossen wird. Die ausserhalb der Länge des zu hebenden Schiffes bleibenden Kolbenrohre werden mit Niederdruckwasser gespeist, das nur das todte Gewicht trägt; das obige störende Kräftepaar ist auf diese Weise beseitigt. Das Werk hatte bis Schluss 1897 rund 1300 Schiffe gedockt, d. i. durchschnittlich 11 in jedem Monat. Der ganze Bau ist sehr durchdacht. Jedes der Kolbenrohre wird von zwei Pfeilern getragen, die aus sieben Stück 100′ langen Pfählen bestehen und mit einer gusseisernen Haube oben zusammengefasst sind. Die Seile an den Rollen üben kräftepaarig eine verdrehende Wirkung auf die Kolbenrohrträger aus; dieser zu widerstehen sind Freiträger J, zwei an jedem Kopf, bestimmt,

*) Das Schwimmdock von Blohm & Voss in Hamburg, das grösste jetzt bestehende, hat 190 auf 36 m Bodenfläche.

**) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 957, Fig. 1035 a und die sich daran schliessenden Ausführungen, die das Grundsätzliche an wichtigen Ausführungen erklären.

die 28′ oder 8,5 m hinaus ragen und dort an einem tief eingerammten schweren Pfahl verankert sind. In ihrer höchsten Stellung wird die Wiege durch hydraulisch bewegte Riegel abgefangen, worauf der Wasserzufluss abgestellt wird*). Als

Fig. 286



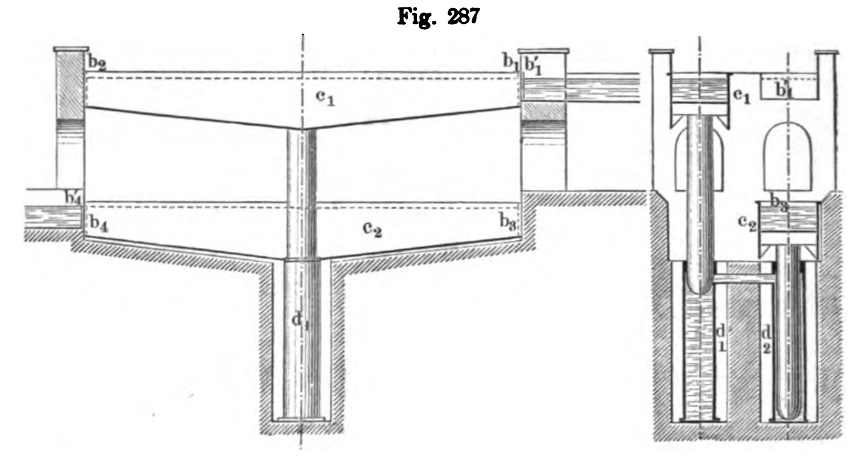
Mangel des Bauwerks ist vielleicht anzuführen, dass man das Presspumpwerk hätte grösser wählen sollen, da nach der angeführten Quelle die Schnelligkeit der steigenden Wiege nur 3,2 Zoll oder 81 mm in der Minute (gegen 192 in Hamburg) beträgt.

So sehen wir denn die Fludparallelführung bei grossartigen Bauwerken vorzügliche Dienste leisten. Es kann indessen auch Fälle geben, wo zwar ein Flud zum senkrechten Bewegen von Lasten dient, die in Länge und Breite ausgedehnt sind, aber die

*) S. Scientific American 1896, August, S. 117 u. 120.

Parallelführung entbehrlich ist. Bei uns hat man vorgeschlagen, die auf diese Weise durch Edwin Clark mit bestem Erfolg von Greens Zugbetrieb auf Fludbetrieb gebrachte Trogschleuse, Fig. 287*), statt mit nur einem Kolben, mit einer Reihe von

Fig. 287



solchen zu bauen und kam dabei wie von selbst wiederum dazu, den Trog parallel führen zu müssen. Mir scheint, dass man hierbei viel tüchtige geistige Arbeit versprüht hat. Der Trog, der den Wasserverbrauch der Schleuse so glücklich einschränkt uud die Trogschleuse in diesem wichtigen Punkte weit über die Kammerschleuse stellt, gibt dem Ganzen die vorzügliche Eigenheit, den Schwerpunkt der auf- und niederzubewegenden Last stets in seiner Mitte zu halten, sodass man sie mit nur einem Kolben tragen kann, ohne eine Kippung fürchten zu müssen. Fallen die Maſse für das einzige Kolbenrohr zu unbequem gross aus, so kann man ja deren mehrere, zwei, drei, vier, dicht nebeneinander stellen; die Seitenwände des Trogträgers können zugleich so hoch hinaufgeführt werden, als es dessen Festigkeit erfordert; eine Parallelführung kann aber dann entbehrt werden, da die Kolben schon eine Geradführung bewirken**).

Anders ist es, wenn Kolbenführung nicht stattfindet, wie bei der 16 m-hübigen Schwimmertrogschleuse, die kürzlich durch die Bauverwaltung bei Henrichenburg für den Dortmund-Emskanal in

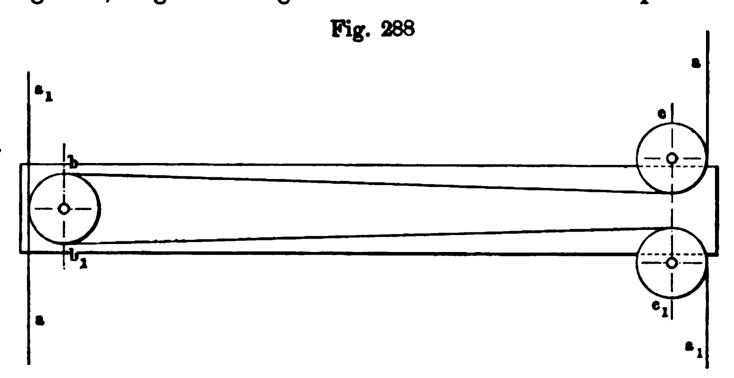
---

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 917.

**) S. die lehrreiche Abhandlung von P. Pfeifer, Hydraulische Uebungen usw., Berliner Verhandlungen 1890, S. 253 ff.

vorzüglicher Weise fertig gestellt worden ist*). Da wird der Trog von fünf 8,3 m weiten Schwimmern getragen, die sich nun der Troglänge nach vertheilen liessen. Hier hat man eine Schraubenparallelführung mit vier Stück 24,6 m langen Schraubenspindeln angewandt. Vielleicht hätte sich die oben erwähnte Seilparallelführung, Fig. 278 a, wie Towne sie für Laufkrane angewandt hat, s. Fig. 288, wegen ihrer grossen Einfachheit besser empfohlen.

Fig. 288



Man hat die Bauwerke vorliegender Art „Schiffshebewerke" genannt; das ist unzutreffend, da sie ebenso wohl und ebenso oft Schiffssenkewerke sind, d. h. nichts anderes als Schleusen. Nennt man sie insbesondere wegen ihres wichtigsten Theiles Trogschleusen, so fesselt man alsbald den Gedanken an das Wichtigste; die Nebenbestimmung, ob Schwimmer-, ob Kolbenbetrieb, kommt in zweite Linie, mehr noch, ob Parallelführung angewendet ist oder nicht.

§. 50

Freigängige Parallelführungen

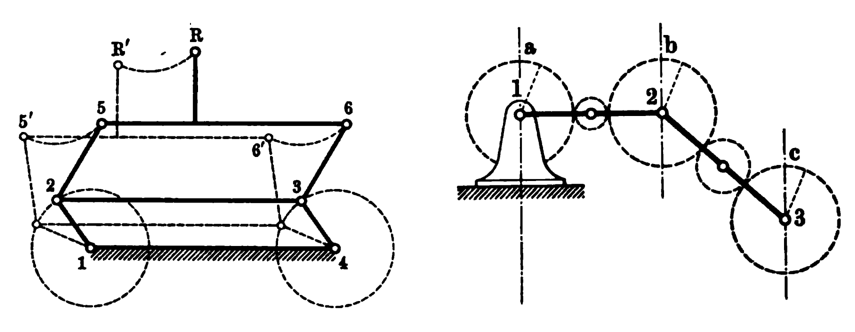
Während in den besprochenen Parallelführungen dem parallel geführten Stück bereits alle Punktbahnen vorgeschrieben waren, indem der führende Mechanismus schon zwangläufig geschlossen war, gibt es nach S. 308 auch solche, bei denen die letzte Führung noch fehlt. Davon einige Beispiele.

„Das doppelte Parallellineal", Fig. 289 (a. f. S.), besteht aus zwei verbundenen Parallelkurbeln von der gewöhnlichen Form ($C_2'' \parallel C_2''$).

*) S. Zentralbl. d. Bauverwalt. 1896.

Führt man nun einen Punkt R der äussersten Parallelstange c' in irgend einer Bahn RR' innerhalb seiner Spielgrenzen, so beschreibt jeder andere Punkt derselben Stange, z. B. Punkt 5, eine ebenso gestaltete und gelegene Kurve 5.5′ (vergl. Satz XVIII, S. 307). Der Anwendungen sind viele möglich. Bei den Stickmaschinen von Voigt, Pittler, Voigtländer, Rost u. A. wird mittelst

Fig. 289 Doppeltes Parallellineal Fig. 290 Räderknie



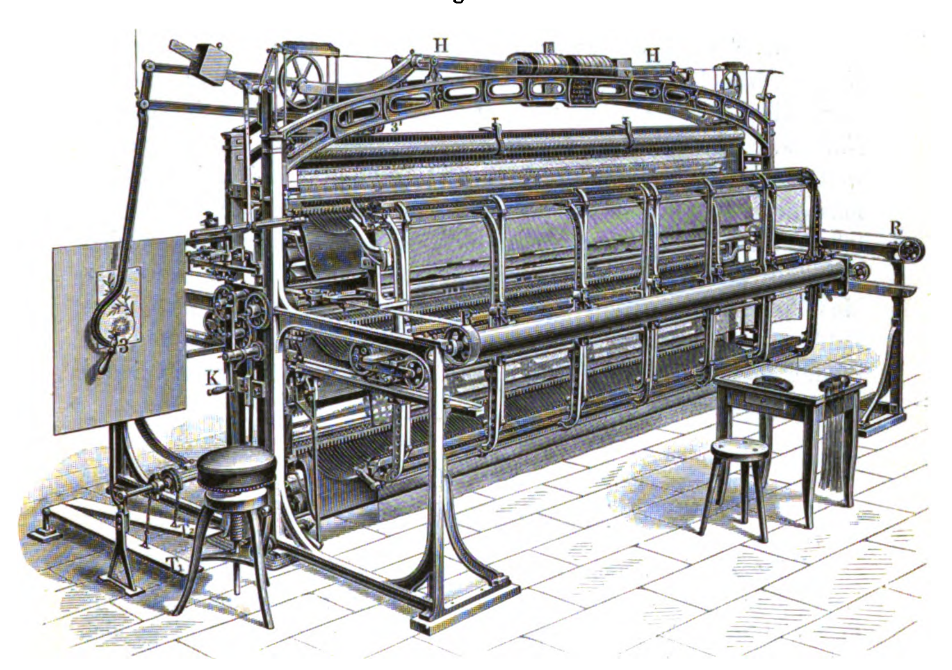
eines Storchschnabels die Endschiene eines doppelten Parallellineals angemessen geführt (s. z. B. D.R.P. 46460) und durch sie ein Stickrähmchen, auf dem nun durch die stickende Nadel umgekehrte oder Spiegelbilder der Fahrstiftbewegung erzeugt werden (vergl. S. 286).

Im sogenannten „Räderknie“, Fig. 290, bei dem die Eckräder $a, b, c \ldots$ gleich sind und nur je durch ein einziges Zwischenrad mit dem nächsten Eckrad betrieblich verbunden sind, stellen die Eckräder Parallelräder vor, d. h. haben miteinander nur unendlich fern gelegene Pole gemein. Demnach beschreiben alle Punkte des äussersten Eckrades c gleiche Kurven, wenn das Rad überhaupt bewegt, das erste Eckrad dabei nicht gedreht wird. Dreht man aber das erste Eckrad a, so beschreiben die andern Eckräder ganz dieselben Drehwinkel wie a, gleichviel welche Bewegung man auch dem Endpunkt 3 des Knies ertheilen möge. Gerade zu solchen Drehungsübertragungen auf bewegte Körper wird das Räderknie hier und da gebraucht.

An der „Heilmann’schen Stickmaschine“, Fig. 291, die allmählich zum Hauptmittel einer bedeutenden Grossindustrie ausgebildet worden ist, spielen drei Leitungsgetriebe die hervorragendste Rolle, zwei Parallelführungen und ein Storchschnabel. Neben der Heilmann’schen Maschine hat sich die Schiffchen-

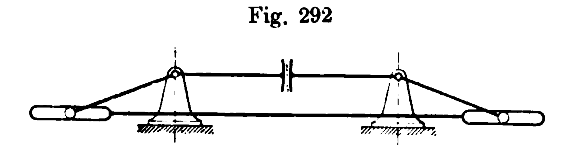
Stickmaschine eine nicht zu unterschätzende Bedeutung erworben. Die Heilmann'sche Maschine ist eine „Durch“stickmaschine; sie führt die Nadel mit dem Nähtling durch den Stoff hindurch wie

Fig. 291



die Hand, darauf zurück wiederum durch den Stoff, während die Schiffchenmaschine ganz wie die Nähmaschine die Nadel nur tief hinein in den Stoff und dann zurückführt, wobei das Schiffchen durch die sich bildende Schleife des Nähtlings schlüpft. In unsrer Figur erkennt man bei *HH* die freigängige Hebelparallelführung, Fig. 292, die den Stickrahmen auf und ab sowohl als quer hin und her Bewegungen gestattet, aber nur solche in parallelen Lagen. Durch den Storchschnabel, den

Fig. 292



der Sticker handhabt, wird von 3 aus ein Punkt 3′ des Stickrahmens geführt und für jeden Stich entsprechend der Vorzeichnung versetzt. Beim Sticken entsteht also ein umgewendetes verkleinertes Bild

des Musters, wie bei Fig. 227, S. 286 gezeigt wurde. Nach Setzung des Fahrstiftes bei 3 wird mittelst der Handkurbel K eine Riemenparallelführung RR in Bewegung gesetzt, die die Nadelwagen zum Stoff führt. Die von Zangen oder „Kluppen" gehaltenen Nadeln durchstechen den Stoff, werden dann vermöge Niederdrückens des Tretschemels T_2 von der sie haltenden Kluppe losgelassen und gleichzeitig von der jenseits des Stoffes harrenden Kluppe gefasst, worauf Zurückfahrt des jenseitigen Nadelwagens mittelst der Handkurbel bewirkt wird, und so weiter. Die vorliegende Figur stellt eine dreireihige Stickmaschine sächsischen Modells dar, ausgeführt von der Maschinenfabrik Kappel in Kappel-Chemnitz, die schon über 5000 solcher Maschinen, die sich vorzüglich bewähren, geliefert hat. Derartige Maschinen arbeiten mit 200 bis 500 (genauer 504) Nadeln. Diese Zahlen lassen die Grossartigkeit des Fortschrittes erkennen, der in den letzten fünfzig Jahren auf dem betreffenden gewerblichen Gebiet gemacht worden ist.

§. 51

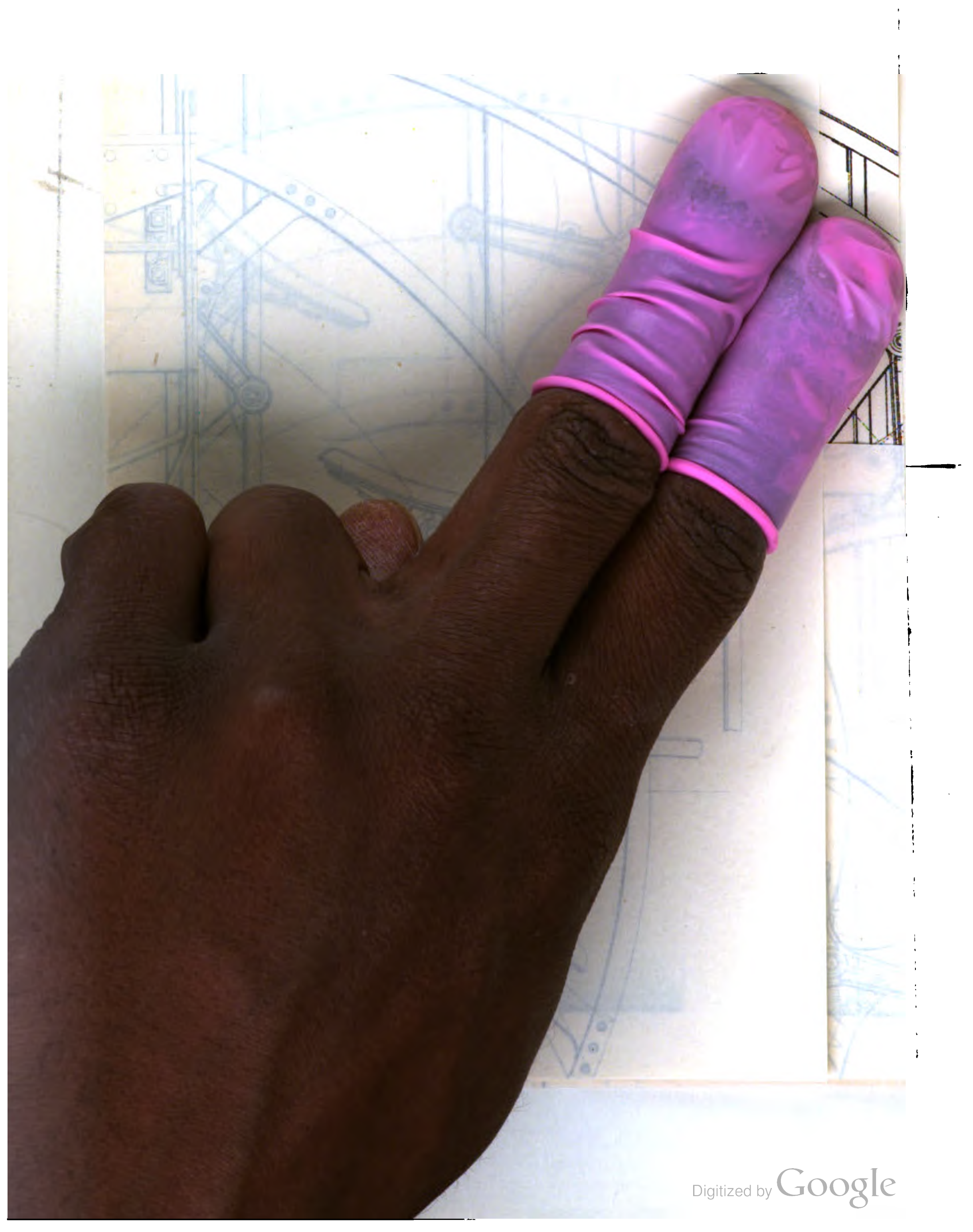
Lagenführungen

Führung in wechselnden aufeinanderfolgenden Lagen, kurz Lagenführungen genannt, sind in einer begrenzten Zahl von Fällen kinematisch herbeizuführen. Wesentlich handelt es sich dabei um Einwirkung starrer Elemente auf bildsame, also auf Zugelemente und Druckelemente. Beim Kämmen langstapeliger Faserstoffe, wie Wolle, Flachs und dergleichen, sind solche Lagenführungen in Anwendung gekommen, so bei den Flachsbearbeitungsmaschinen von Marsden und Anderen. Eine wichtige Getriebereihe bilden sodann die Ruderräder mit Drehschaufeln. Auch bei ihnen handelt es sich um wechselnde und angemessen zu wählende Lagen der Schaufeln. Man hat mehrere Bauarten des Drehschaufelrades im praktischen Gebrauch geprüft. Weiter oben wurde schon darauf hingewiesen, dass das Buchanan'sche Rad, bei dem die Schaufeln stets senkrecht zur Wasserfläche gehalten werden, nicht gut ist. Besser ist schon das Oldham-sche Rad, das die Schaufelrichtung stets durch den obersten Umfangspunkt des Zapfenkreises leitet; es gibt wenigstens der Schaufel einen erträglich guten Eintritt. Am besten löst die Aufgabe die Morgan'sche Bauart. Bei ihr wird jede einzelne



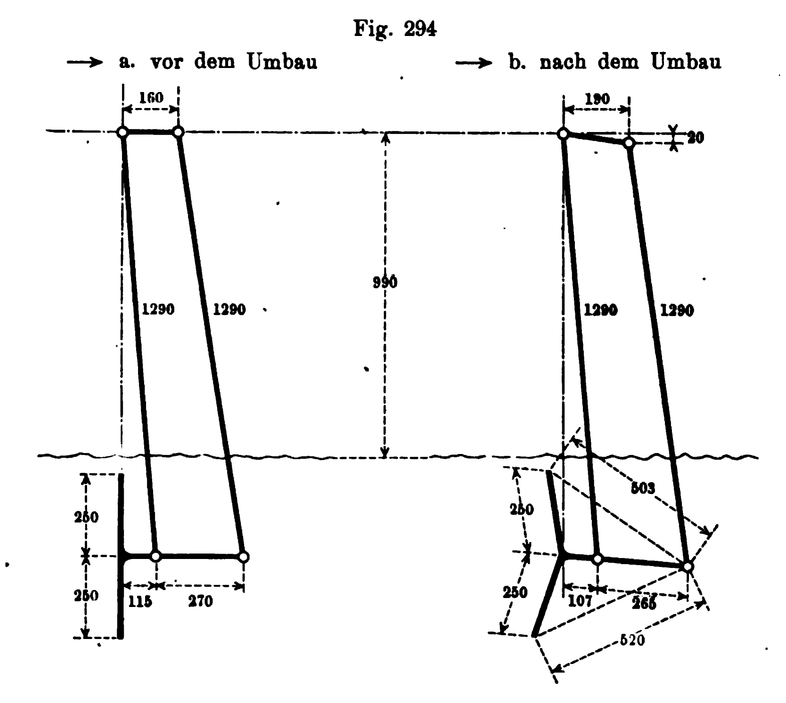
de

ıt auf



Schaufel durch je ein Getriebe von der Form $(C''_4)^a$ geleitet, siehe Fig. 293 auf der vorstehenden Tafel, und zwar mit dem Zwecke, die Schaufel ohne Stoss, d. i. in der Richtung ihrer Fläche eintreten und bald darauf möglichst ohne Abschleuderung des Wassers austreten zu lassen. Dies lässt sich nach der von mir aufgestellten kinematischen Theorie*) recht gut annähernd verwirklichen. Nach derselben haben z. B. die Herren Gebr. Sachsenberg in Rosslau die Schaufelung der Räder des Elbdampfers Saale, der schon Drehschaufeln besass, in der Weise,

Fig. 294



die Fig. 294 andeutet, umgebaut. Darauf gieng die zum Betrieb mit der innegehaltenen Fahrschnelle von 2,25 m erforderliche Umlaufszahl der Räder, also Kolbenspiele, von 33 auf $29^1/_2$ herab, was einer Brennstoffersparniss von mehr als $^{15}/_{100}$ entspricht. Das

*) Ich verweise wegen derselben, da es hier an Raum fehlt, auf meines ehemaligen ersten Assistenten, Herrn Baumeisters, jetzt Professors W. Hartmanns Mittheilung in der Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ingenieure 1891, S. 95, „Ueber ein neues Verfahren zur Aufsuchung des Krümmungskreises“, worin meine Theorie in kurzem Auszug vorgeführt ist.

auf der vorstehenden Tafel dargestellte Rad gehört dem neuen Donaudampfer Franz Josef, erbaut auf den Danubiuswerken in Budapest, an*), der in bewährtem Betrieb ist.

Sehr entscheidend waren schon die Versuche, die Barlow mit dem Morganrad machte, als es eben in Vorschlag gekommen war. Am „Feuerbrand", einem Schiff mit radialschaufligen Rädern, wurden zuerst sorgfältige Messungen über Schnelle und Kraftverbrauch gemacht und darauf Räder und Maschinen umgebaut, und zwar nicht eine stärkere, sondern eine schwächere Maschine eingebaut, und alsdann die Messungen wiederholt**). Sie ergaben was folgt.

Angaben	Festes Rad	Morganrad
Zahl der Schaufeln	14	9
Fläche der Schaufeln.	18 □′	13 □′
Durchmesser des rollenden Kreises***) .	11,88′	10,50′
Durchmesser des Schaufelmittelkreises .	15,38′	15,73′
Verhältniss ihrer Umfangsschnellen . .	1,30	1,50
Maschinenstärke	$N = 140 PS$	$N_1 = 120 PS$
Fahrschnelle in Meilen (Reise nach Korfu)	$v = 10,15$	$v_1 = 10,55$

Um hieraus die Steigerung des Wirkungsgrades des Radbetriebs zu ermitteln, haben wir zu beachten, dass beim Schiffswiderstand P die Nutzleistung einer PS proportional ist dem Werthe $Pv:N$. Nun ist aber P mindestens proportional v^2. Demnach verhalten sich die Wirkungsgrade W_1 und W wie folgt:

$$\frac{W_1}{W} = \frac{v_1^3}{v^3}\frac{N}{N_1} = \frac{10,55^3}{11,15^3}\frac{140}{120} = \frac{1,04^3 . 7}{6} = 1,31.$$

Um nun dieses günstige Ergebniss verständlicher zu machen, setzen wir die obige Zahlenreihe noch etwas fort, und finden:

	Festes Rad	Morganrad
Fahrschnelle v in engl. Fuss (Stunde) . .	53 592′	55 704′
v in der Sekunde	14,89′	15,47′
Dasselbe in Metermaſs.	4,54 m	4,72 m
Umfangsschnelle c des Schaufelmittelkreises	5,90 m	7,08 m
Unterschied $c - v$	1,36 m	2,36 m

*) S. Engineer vom 10. Sept. 1879.

**) S. Tredgold, Steam Engine, London 1838, Appendix S. 67 und 160.

***) Kreis, dessen Umfangsschnelle gleich der Fahrschnelle des Schiffes ist, also die Polbahn des Rades, die auf einer Geraden, die mit dem Wasser verbunden ist, rollt.

Das festschauflige Rad des „Feuerbrands“ hatte also das am Schiff entlang streichende Wasser, das seine Schaufeln fassten, auf 1,36 m und zwar unter sehr ungünstiger Art des Angriffs beschleunigt; das Morgan'sche Rad beschleunigte unter sehr günstiger, fast stossfreier Angriffsweise das erfasste Wasser auf 2,36 m, bedurfte daher für dieselbe Kraftleistung einer beträchtlich kleineren — nur nahe $^2/_3$ so grossen — Schaufelfläche und einer weit geringeren Zahl von Schaufeln.

Aehnlich günstige Ergebnisse erhielt Barlow aus Messungen an anderen Schiffen; alle erhärteten die Ueberlegenheit des Morganrades über das festschauflige, auch wenn an letzterem die Schaufeln schräge oder schraubengangartig angebracht, oder wenn sie treppenförmig gestaltet sind, was sich insbesondere als ungünstig erwies. Das Morganrad, neuerdings mit den erwähnten, gekrümmten Schaufeln ausgerüstet, ist heute allgemein gebraucht an den Stellen, wo überhaupt das Ruderrad zweckmäſsig ist, d. i. auf Flüssen und Meeresarmen. Bei dem 7800-pferdigen amerikanischen Flussdampfer Puritan *) haben die Räder 35′ äusseren Durchmesser; ihre, ebenfalls gebogenen Schaufeln haben 14 auf 5′ Fläche und sind aus $^7/_8$″ oder 22,2 mm dickem Stahlblech hergestellt. Jede der Schaufeln wiegt leer 2800 ℔ oder 1258 kg, jedes Rad wiegt rund 100 t, sodass beide zusammen ein ungeheures Schwungrad bilden.

Wir haben hiermit die Uebersicht über die kinematische „Leitung“, d. i. Erzwingung der Form der Bewegung, beendigt. Es verdient sehr beachtet zu werden, dass wir dabei Aufgaben aus dem ganzen Gebiet des praktischen Maschinenwesens zu berühren hatten, vom feinsten Zeichengeräth mit Schräubchen und Spitzen an, durch grosse blühende Industrien der verschiedensten Art hindurch bis zu den gewaltigsten Hebewerken und Dampfmaschinen; alle zeigten sich als denselben wissenschaftlichen Gesetzen der Kinematik unterworfen und konnten aus ihrer vereinzelten Stellung heraus in eine solche gebracht werden, in der sie als Theile eines bedeutenden Ganzen erkennbar wurden.

Bei vielen deutschen Fachleuten besteht noch ein altes,

*) S. Scientific American 1891, Februar, S. 87.



neuerdings aber wieder frisch genährtes Vorurtheil, wonach die Kinematik oder Zwanglauflehre überhaupt, und ganz besonders derjenige ihrer Theile, der sich auf die „Leitung“ bezieht, es nur mit spitzfindigen Bewegungsaufgaben zu thun habe, die gänzlich an den Grenzen des praktischen Gebietes lägen; man folgert daraus, dass die Zwanglauflehre oder ihr Studium „nicht praktisch“, viel zu „theoretisch“ sei, um die Aufmerksamkeit des Technikers zu verdienen. Dieses Vorurtheil frischt man in derselben Zeit auf, wo z. B. aus dem Schofs der Praxis über fünfhundert sogenannte Präzisionssteuerungen voll „Leitung“ das Licht des Patentamtes erblickt haben, Vorrichtungen, bei denen zahlreiche Formen gewisser Mechanismen, die ganz demselben Zwecke dienen und manchmal recht spitzfindig sind, miteinander in Wettbewerb treten. Dass dieses Vorurtheil völlig blind ist, und dass die Abmahnungen derer, die wiederum, ganz wie vor einem halben Jahrhundert geschah, das „Praktische“ als dem „Theoretischen“ weit überlegen darstellen, nicht nützlich sind und die so nothwendige Entwicklung stören und aufhalten, hat unsre obige, ganz vorurtheilsfreie Untersuchung klar an den Tag gelegt. Bei der zu allerletzt behandelten Aufgabe von den Drehschaufelrädern geschah dies mit besonderem Recht. Denn wie die 28 Zentner schwere Schaufel am Rade des Riesenschiffs zu gestalten und zu führen sei, um von den 7500 Pferdestärken der Kraftmaschine mindestens den sechsten Theil nützlich statt unnütz zu verwenden, lehrt schlicht die Kinematik, lehrt dies ebenso schlicht und kurz, wie sie zeigt, dass die Brückenwaagen, für deren jede einzelne die ältere Auffassung eine besondere Untersuchung erforderte, unter ein einziges, sehr einfaches Gesetz zusammentreten.

Ganz ähnlich konnte schon im ersten Bande, bei den Kapselräderwerken und bei den Kurbelkapselwerken, gezeigt werden, wie ganze Schaaren von Maschinen, die ehedem vereinzelt und in schwer verständlichen Gegensätzen einander gegenüberstanden, sich unter strenge und völlig klare kinematische Gesetze bringen lassen. Es ist dadurch eine Vereinfachung der Anschauungen möglich geworden, die den Kennern der Kinematik die grössten Vortheile gewährt. Ferner konnten die Gesperrwerke, die vorher in einer kaum beschreibbaren Verwirrung und Endlosigkeit dalagen, in eine klare Lehre gefasst werden, einzig und allein auf Grund kinematischer Untersuchung. In welcher Weise dabei

die mit Druckelementen arbeitenden Maschinen, und zwar Kraftmaschinen wie Arbeitsmaschinen, auf Grund der Gesperrwerklehre ihrem Wesen nach verständlich wurden und aus Vereinzelung zur Erkenntniss ihrer Zusammengehörigkeit geführt werden konnten, habe ich im ersten Bande allgemein, dann aber unter Verfolgung der dort angezeigten Wege im Besonderen in meinem Konstrukteur (IV. Auflage) gezeigt.

So ist denn gerade diese Kinematik, diese Zwanglauflehre, die man für „unpraktisch“ ausgeben möchte, im höchsten Grade praktisch, und zwar weil sie „theoretisch“ verfährt und nach allgemeinen Gesetzen sucht und nach solchen suchen lehrt. Diese Allgemeinheit des Gesetzes zeigt sich besonders deutlich darin, dass so viele der besprochenen Mechanismen auf die Kette (C_4'') und deren Abarten zurückgehen. Ellipsenzirkel, der Storchschnabel in allerlei Abänderungen, die Ellipsenlenker, die Konchoidenlenker, eine Reihe anderer „Lenker“ oder Geradführungen, verschiedene Parallelführungen mit ihren merkwürdigen Anwendungen, Lagenführungen wie die der Drehschaufelräder, alle hatten diese Kette zur Unterlage, weit mehr Mechanismen wären noch anzugeben, von denen dasselbe gilt. Die einmal vollständig durchgeführte Untersuchung dieser Kette gilt hiernach für eine grosse Reihe wichtiger Getriebe, obwohl diese als praktische Fälle recht weit auseinanderliegen können. Gerade in diesem Zusammenfassen, dieser Erkenntniss der Zusammengehörigkeit liegt für den Ingenieur eine ganz ausserordentliche Vereinfachung seiner Denkarbeit, eine Vereinfachung, die das Eindringen in die Zwanglauflehre, hier in das Studium einiger Polbahnenpaare, wie z. B. die in Fig. 231 und Fig. 232, reichlich lohnt. Die Vielheit der Anwendungen der (C_4'')-Kette ruft leicht die Vermuthung, ja eine Art von Ueberzeugung wach, dass sie die wichtigste aller kinematischen Ketten sei; schon jetzt aber möchte ich darauf aufmerksam machen, dass sich weiter unten eine andere Kette, beziehungsweise Mechanismenreihe als noch wichtiger herausstellen wird.

§. 52

Haltungen

Eine Haltung nenne ich bei den vorliegenden Untersuchungen eine mechanische Einrichtung, die zum zeitweiligen Auf-

sammeln und Abgeben von Arbeitsvermögen geeignet ist den Namen habe ich den so bezeichneten Kanalabschnitten und Bergbauanlagen entlehnt, wende ihn aber auf alle drei Elementengattungen, die starren, die Zug- und die Druckelemente an.

Der Häufigkeit ihrer Verwendungen nach sind diese drei hier in umgekehrter Reihenfolge aufzuführen; weitaus die meisten Haltungen werden mit Fluden, beträchtlich weniger mit Tracken, und am wenigsten mit starren Elementen gebildet. Die Häufigkeit der Fludhaltungen hängt damit zusammen, dass, wie S. 215 gezeigt, die allermeisten uns dargebotenen Naturkräfte an Flude gebunden sind.

I. Fludhaltungen

Bei den mit Fluden gebildeten Haltungen werden Spannungsunterschiede verwerthet, indem nämlich das in Haltung genommene Flud entweder höher, stärker, oder aber tiefer, schwächer gespannt ist, als es seinem natürlichen Zustand an der Verbrauchsstelle entspricht, d. h. wir können daher:

a) *Hochdruck- oder Ueberdruckhaltungen,*

b) *Tiefdruck- oder Unterdruckhaltungen*

unterscheiden. Beide kommen gelegentlich natürlich vor; in der Mehrzahl der Fälle bilden wir sie ganz oder theilweise künstlich. Eine kurze Ueberschau wird geeignet sein, den Haltungsbegriff klar hervortreten zu lassen.

A. Ueberdruckhaltungen

1. Städtische Wasserleitungen versieht man gewöhnlich mit Hochbehältern *), gemauerten oder eisernen, die alsdann mit ihrem Rohrnetz und ihrer Zufuhr- oder Speisungsanlage Haltungen bilden. Die Alten suchten, wo immer möglich, natürliche Speisung ihrer städtischen Wasserhaltungen auf; neuere solche Anlagen sind die schönen Hochquellenleitungen von Frankfurt a. M. **) und von Wien. Wo hochgelegene Quellen für diese Leitungen

---

*) Mit unschönem Fremdwort von Vielen „Hochreservoire" genannt.

**) Näheres über diese ausgezeichnete, aus vier Haltungen gebildete Anlage s. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 874.

fehlen, nimmt man Pumpwerke für die Speisung zu Hülfe, meist Dampfanlagen, wo es aber angeht, wie z. B. in Zürich und in Genf, Wasserräder und Turbinen. Manche solche Anlagen dienen in hervorragender Weise zur Kraftleitung. Das Genfer Wasserwerk, bei dem dies zutrifft, zerfällt in zwei Haltungen von verschiedener Druckhöhe, entsprechend der hügeligen Stadtanlage. 1895 lieferte das untere Netz durchschnittlich 230 *PS*, das obere 3014 *PS* der Genfer Industrie; aufgewandte Baugelder bis 1896 $9^1/_2$ Millionen Franken, Reingewinn 1895 175000 Franken.

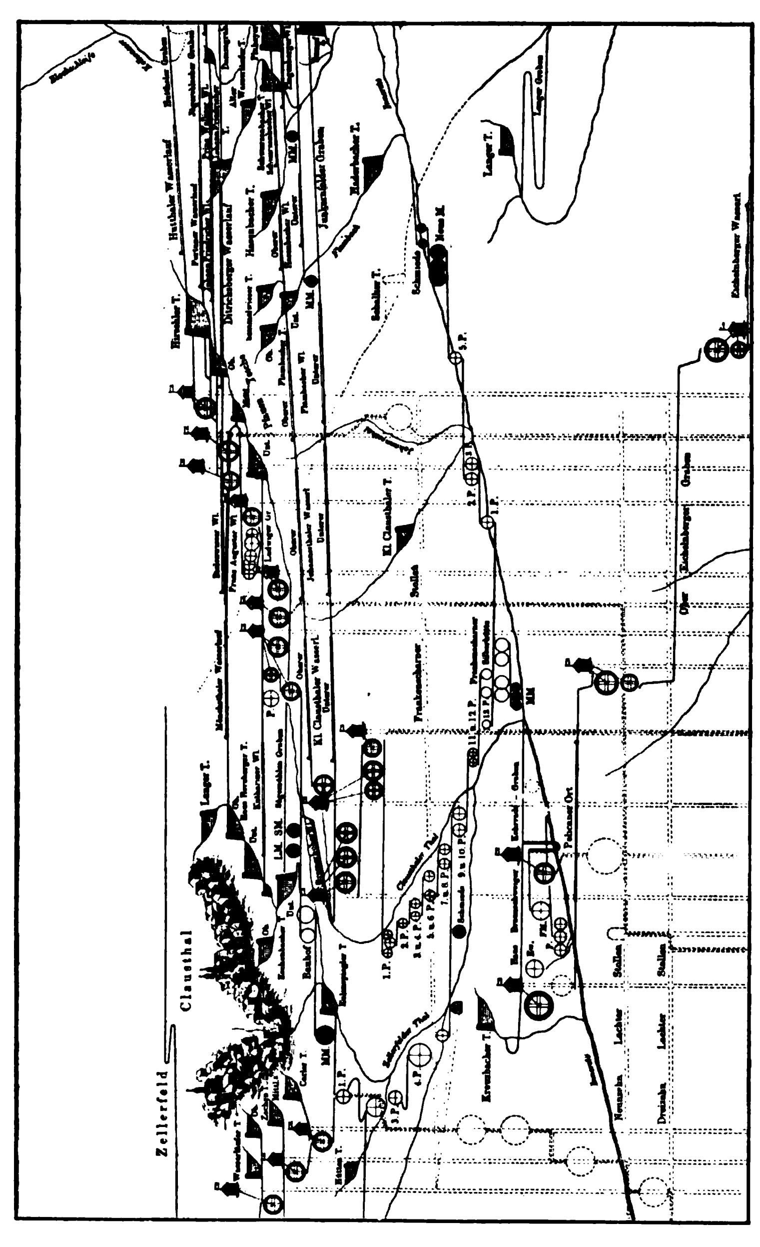
2. Kleine Haltungen, gewöhnlich mit Dampf betrieben, sind an den Wasserstationen der Eisenbahnen im allgemeinen Gebrauch. Wasserhaltungen für Maschinenbetrieb sind die Weiher, Becken, Teiche nebst Zu- und Abflüssen, die bei Turbinen- und Wasserradanlagen üblich sind. Das Harzgebirge ist in mustergültiger Weise mit Haltungen für Maschinenbetrieb gleichsam überzogen. In 69 Teichen wird das von den oberen Höhen kommende Wasser gehalten oder wieder gefangen und durch Leitungen von Rad zu Rad geführt. Die Gesammtmenge des in Teichen regelmässig gehaltenen Wassers übersteigt 9 Millionen Kubikmeter. Figur 295 (a. f. S.), die Wasserwirthschaft um Clausthal versinnlichend, gibt einen Begriff von der Ausbildung der Anlagen *). Diese speisen 219 Wasserräder, theils ober-, theils unterirdisch, und zwei Wassersäulenmaschinen mit insgesammt 3284 *PS*; die Länge der ober- und unterirdischen Wassergräben, die Stollen ausgeschlossen, übersteigt 280 km. Haben die neueren Betriebsbedürfnisse auch die Heranziehung des Dampfes in den Hüttenbetrieb des Harzes nöthig gemacht, so bleibt doch seine Wasserhaltungsanlage nach wie vor der höchsten Anerkennung werth.

3. Druckhalter für besonders stark gepresstes Flud, recht eigentliche Hochdruckhalter von 20, 50 bis 200 at Druck sind die sogenannten (Wasser-) Akkumulatoren; sie werden in fortwährend steigendem Maſse zu allerhand Betrieben gebraucht, nachdem sie sich für Wasserkrane, Schleusenthor-, Drehbrückenbetriebe und Aehnliches vorzüglich bewährt hatten. Diese Wasserdruckhalter haben anstatt der Belastung durch eine hohe Wassersäule, die z. B. für 100 at Druck 1000 m hoch sein müsste, Belastung durch

*) S. Dumreicher: Gesammt-Ueberblick über die Wasserwirthschaft des nordwestlichen Oberharzes, Clausthal 1868.



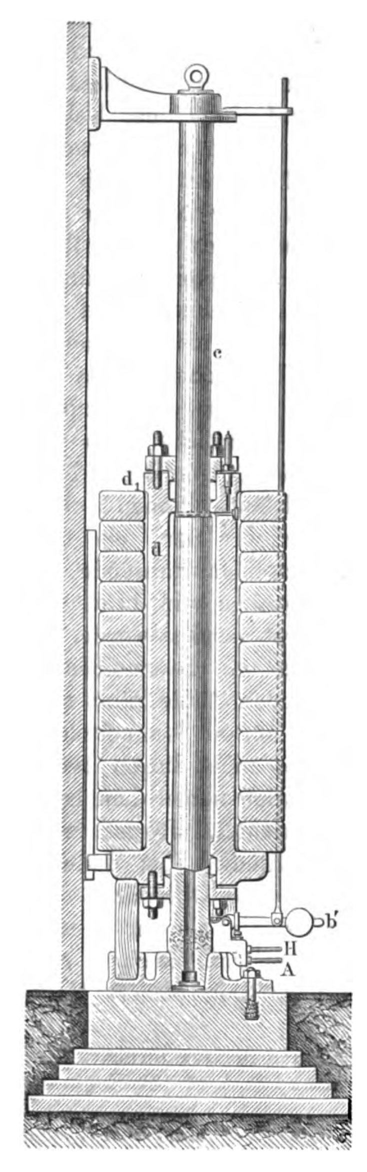
Fig. 295



Wasserwirthschaft im Oberharz

schwere Gewichte, so bei dem in Fig. 296 dargestellten Tweddell-schen Druckhalter gusseiserne Ringe d_1, und zugleich, damit die Eisenlast auf eine kleine Kolbenfläche wirkt, einen Zwiselkolben nach Fig. 212 e. Dieser Kolben ist fest aufgestellt — Paarumkehrung gegenüber letztgenannter Figur — und stellt, wie wir oben, S. 334 erörtert haben, das eine starre Ende eines Fludstranges vor, dessen anderes Ende (in der Werkstätte) wieder in einen oder mehrere Kolben ausläuft (vergl. oben S. 333). Der Wasserstrang tritt durch das Rohr A aus, das Zufuhrwasser durch Rohr H ein. Somit ist der ganze gewaltige Druckhalter bloss ein Theil eines Elementenpaares, bestehend aus Flud und Kapsel. Das vollständige Paar hatten wir in Fig. 285 b vor uns (abgesehen vom Zwiselkolben); man hat sich dasselbe bloss so verwendet zu denken, dass der eine Kolben, z. B. a_2, fest aufgestellt wird und die äussere Kraft auf die Kapsel b wirkt. Hier liegt einer der Fälle vor, in denen wir gelegentlich dadurch überrascht werden, dass der Maschinenbauer ganze Theilreihen zu einem Stück verbindet, wobei dieselbe Einfachheit zu Tage tritt, die ich hier durch Beweisführung darzulegen hatte.

Fig. 296



Wegen ihres geringen Wassergehaltes muss Druckhaltern vorliegender Bauart immer selbstthätig Wasser zugepumpt werden, sobald Verbrauch stattgefunden hat. Dabei sinkt und steigt die Eisenlast $d d_1$ oft sehr schnell, was mächtige Massenwirkungen auftreten lässt. Die Span-

nung, die in dem dargestellten Druckhalter der statischen Belastung entspricht, beträgt 100 at; sie steigt aber bei raschem Niedergang der Massen auf 193 at *). Von Druckhaltern für Schmiedepressen unten mehr.

4. Sehr zahlreich sind die Haltungen, die man angelegt hat, um den Ablauf der natürlichen Niederschläge zu regeln, indem man durch Barren und Thalsperren Sammelbecken bildete. Letztere nehmen die Wasserüberschüsse auf, die sonst Ueberschwemmungen verursachen würden, und geben sie in wohlgeregeltem Lauf an Landwirthschaft und Gewerbebetrieb ab. Solche Werke baute man schon — und zwar bloss für die Landwirthschaft — im Alterthum. Ein grossartiges und berühmtes Beispiel liefert der einstige Mörissee in Aegypten, der durch sechs Monate die Ueberschüsse der Nilfluth aufnahm und in den folgenden sechs wieder hergab (die Kanäle lagen nebeneinander). Den scharfen Untersuchungen Heinrich Brugschs ist es zu danken, dass wir jetzt die vielumstrittene Grösse dieses künstlichen Sees recht gut kennen **). Seine Oberfläche mafs fast genau $^1/_2$ deutsche Quadratmeile oder 28 125 000 qm, seine Tiefe über 7 m, was einer Wasserräumte von rund 200 Millionen Kubikmeter entspricht. Schwerlich viel kleiner war der, ebenfalls künstliche Nitokris-See in Assyrien, der zwei Jahrtausende vor unsrer Zeitrechnung unweit Babylon ausgegraben und durch den mächtigen Pallakopaskanal aus dem Euphrat gespeist wurde.

Indien war das Land der Thalsperren und Sammelbecken schon früh so weit die Geschichte reicht; noch heute zählt man in der Präsidentschaft Madras allein über 53 000 Sammelteiche. Die Engländer haben aber auch die Sache nicht liegen lassen und schöne Bauten, bei denen der Kraftbetrieb neben dem landwirthschaftlichen berücksichtigt wurde, errichtet. Jüngst fertig geworden ist der Damm von Peryar in Südindien (bei Madura). Der See, den er gebildet hat, besitzt eine Oberfläche von 0,69 deutschen Quadratmeilen, d. i. 1,4mal so viel als der einstige Mörissee. Vor dem Damm ist der See 39 m tief. Rechnet man für die mittlere Tiefe nur 13 m, was nach Dumreichers Harz-

*) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 1069 und die ausführlichen Mittheilungen in den Minutes of proceedings of the Inst. of Civ.-Engineers 1883, Bd. 73, S. 92.

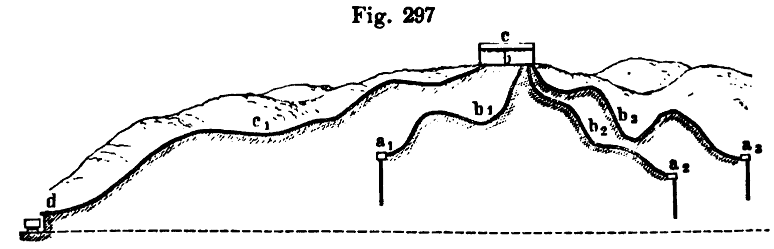
**) S. Westermanns Monatshefte 1893, Bd. 73, S. 118, Heinrich Brugsch, Der Mörissee.

berechnung viel zu wenig wäre, so ergibt sich eine Wasserräumte von über 500 Millionen Kubikmeter *).

Italien, Spanien, Frankreich, England, Nord-Amerika haben den Haltungsbau ausserordentlich und mit grossem Erfolge gepflegt; die ganze Blüte der Lombardei beruht auf Haltungsbauten, an denen u. A. Leonardo da Vinci und Giulio Romano thätig waren. Russland hat Haltungen bedeutender Art, vorzugsweise für Kraftzwecke bestimmt, schon im Anfang dieses Jahrhunderts gebaut. Bei uns hat man erst in den letzten Jahren angefangen, auf die Haltungsbauten die so lange versäumte Aufmerksamkeit zu richten **).

5. Natürliche Haltungen, die den Ablauf der Niederschläge regeln, sind die Seen in Gebirgsländern. So verhält sich die Hochwassermenge des Rheins zu dessen Niedrigwassermenge gleich

Fig. 297



oberhalb des Bodensees wie 10,9 : 1 und gleich unterhalb wie 4,9 : 1; bei Rhone und Genfersee betragen die beiden Verhältnisse 12,7 und 5,1 ***). Aber auch der Zufluss zu diesen Seen oder ihren Speisern ist wiederum durch andere natürliche Haltungen geregelt; das sind die Gletscher, in denen eine ungeheure Schneemenge zunächst in den gefritteten Zustand und aus diesem in den des Eises übergeht, das allmählich im Gletscherbett und am Gletscherfuss abschmilzt †).

6. In der Petroleumbeförderung spielen Haltungen eine hervorragende Rolle; Fig. 297 stellt eine Petrolhaltung dar, $a_1 a_2 a_3$

*) Genaueres in Sc. American, 17. August 1895, S. 104.

**) Der Verfasser wies bereits 1876 in seiner kleinen Schrift, Ueber das Wasser, Berlin, Nicolai, auf die Wichtigkeit der Haltungsbauten und auch auf unsre Versäumniss hin; jetzt staunt man bei uns im grossen Publikum die Thalsperren als neue Erfindungen an.

***) S. die Denkschrift des Verbandes Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine, „betr. die bessere Ausnützung des Wasserwesens usw.", verf. von Frauenholz, Garbe, Intze, Schmick und Wolff, München 1883.

†) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 1100.

Bohrlöcher mit (Dampf-) Pumpwerken, die das artesisch erbohrte Oel durch Rohrleitungen $b_1 b_2 b_3$ oft meilenweit zu dem Hochbehälter c fördern. Aus diesem fliesst es durch eine abermals oft meilenlange Leitung c_4 nach einem Verladeplatz. Die Betheiligung der Gewerkschaften, denen die Stellen $a_1 a_2 a_3$ gehören, an dem Vertrieb bei d ist durch Verträge und Abkommen geregelt.

Haltungen in der Form eiserner Behälter sind auch für Sprit, der Steuerüberwachung wegen, mit bestem Erfolg eingeführt worden.

7. Die Leuchtgasbehälter oder sogenannten Gasometer bilden mit ihrem Rohrnetz und ihren Speisevorrichtungen vollständige, oft grossartige Haltungen. Die Gasglocke bildet den festen Abschluss des gasförmigen Fludstranges ganz wie das Kolbengehäuse oder die Kapsel d beim Wasserdruckhalter, Fig. 296, belastet auch ebenso den Fludstrang. Diesen festen Abschluss konnte man beim Petroleumhalter von vorhin entbehren, hier aber wegen der Ausdehnungskraft des Gases nicht. Ganz deutlich wird hier wieder, dass der Kolben nicht für sich besteht, sondern zum Flud gehört. Die Führung des festen Abschlusses des Fludstranges wurde bei dem Druckhalter in Fig. 296 durch ein angefügtes Prismenpaar bewirkt. Bei grossen Gasglocken machte diese Führung, bei der man wohl Ketten mit Gegengewichten zu Hülfe nimmt, gewisse Schwierigkeiten, da man sich genöthigt sah, Parallelführungen zu Hülfe zu nehmen, weil die Glocke lose in ihrer Wasserdichtung sitzt und schon durch Reibung schief gestellt werden könnte. Die Ingenieure Madd und Mason in Manchester haben alle hier entstehenden Schwierigkeiten gehoben, indem sie statt des Prismenpaares das Schraubenpaar unvermittelt anwandten. Sie gestalten die Gasglocke als Schraube — S^+ — und die nächste sie umgebende Hülle als Schraubenmutter — S^- —, sodass beide zusammen ein kinematisches Schraubenpaar (vergl. Fig. 106 c) bilden; es wird geschrieben $S^+_= S^-$ oder abgekürzt (S). Wasserverschluss ist nach wie vor angewandt. Diese Bauweise ist auch dann leicht zu verwirklichen, wenn, wie in Fig. 298 dargestellt, die Glocke teleskopisch gebildet wird*). —

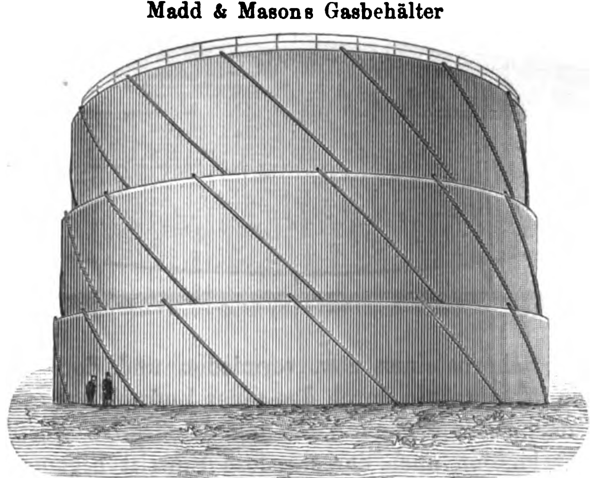
*) S. Weisbach-Reuleaux's Ingenieur, VII. Aufl., S. 979. Ausführliches findet man in Sc. American Supplement vom Febr. 1896, S. 16815, „Columneless gas holders“. Die Schraubenglocken haben sich im stärksten Wind bewährt; 1897 hatten die Erfinder schon über 60 Stück geliefert. Die Er-

Kleinere Gashaltungen mit Gasglocke sind bekanntlich in Laboratorien und chemischen Fabriken im allgemeinen Gebrauch. Natürliche Gashaltungen sind die Gasquellen Nordamerikas, die einstweilen der dortigen Eisenindustrie Heizgas unter hohem Druck zuführen. Gemäfs den neuesten Berichten versprechen die Gasquellen noch für Jahre hinaus volle Ergiebigkeit.

8. Nach dem Muster der Hochdruck-Wasserhalter hat man künstlich belastete Druckhalter auch für Luft gebaut. Besonders wichtig ist die so verfügbar gemachte Druckluft da geworden, wo sie die Gewichtsbelastung eines Wasserdruckhalters ersetzt, diesen also von den oben, S. 352, erwähnten Massenwirkungen der auf- und niedergetriebenen Eisenmassen befreit, dennoch aber

Fig. 298

Madd & Masons Gasbehälter



ausserordentlich hohe Wasserpressungen zu erzielen ermöglicht. Druckluft aus einem künstlich mit Gewichten belasteten Lufthalter belastet also dann, wiederum künstlich, einen Hochdruck-Wasserhalter *).

9. Auch der Windkessel an der Feuerspritze und an Flüssigkeitspumpen überhaupt ist ein Ueberdruckhalter, der die zugepumpte Flüssigkeit mit gespannter Luft belastet; er dient dazu,

---

sparung der Führungssäulen, sowie von mehr als 30 v. H. an Baustoff, Anstrich und Fuhrkosten zeichnen die einfache kinematische Bauart aus.

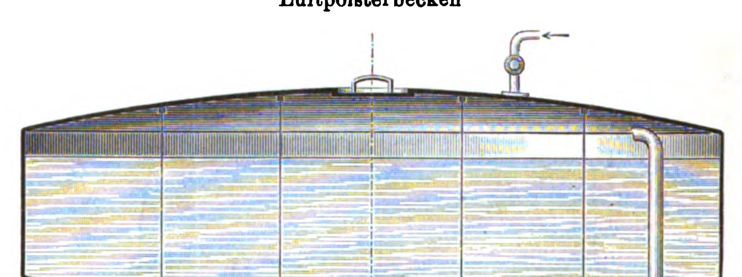
*) S. „Stahl und Eisen“ 1891, Nr. 1, wo der mit Luft belastete Halter von Prött & Seelhoff ausführlich dargestellt ist.

die in absetzender Bewegung zutretende Flüssigkeit stossfrei ein-, und nahezu gleichförmig austreten zu lassen. Wie wir aus Vitruv wissen, wurde der Windkessel von dem griechischen Mechaniker Ktesibios, der um 130 v. Chr. in Alexandrien lebte und Heros Lehrer war*), erfunden und, genau so wie bei uns, in der Feuerspritze und beim Springbrunnenbetrieb verwerthet.

10. Mit dem Windkessel verwandt, aber nicht ihm gleich ist das vom Verfasser angegebene Wasserbecken mit Luftpolster, Fig. 299. Es ist eine Haltung für Flüssigkeiten, bei der die bisher allein übliche Höhenlage der Aufstellung auf Thürmen,

Fig. 299

Luftpolsterbecken



Hügeln, an Schornsteinen usw. vermieden und der Druck einer bestimmten Wassersäule durch den eines Luftpolsters ersetzt wird, während der gleichförmige oder ungleichförmige Austritt nicht in Betracht kommt, auch der stosslose Eintritt Eigenschaft, aber nicht Zweck ist. Das Luftpolsterbecken ist — entgegen dem Gebrauch bei Windkesseln — niedrig, aber weit auszuführen, damit grosse Entnahmen bei kleiner Spiegelsenkung stattfinden können. Zu- und Abfuhr geschehen wie beim hochliegenden offenen Becken; Decke und Boden werden gegenseitig verankert; das Ganze kann gegen Hitze und Kälte durch Ueberdachung leicht geschützt werden.

11. Haltungen für gespannte Luft, also gasförmiges Flud (nicht, wie soeben, tropfbares), sind überaus häufig angewandt.

*) Dass damals schon eine bemerkenswerthe Entwicklung vorlag, die Bedeutendes vermochte und leistete, haben wir oben, S. 201 ff., gesehen.



Eine solche ist der so zu nennende Lufthalter am Blasebalg des Schmieds, an dem der Drehorgel, der Kirchenorgel und mancherlei anderen Einrichtungen. Der erste Theil des Blasbalges ist ein Luftpumpwerk, der zweite ein Lufthalter, der mit Gewicht belastet ist, wie der Wasserdruckhalter in Fig. 296. Die Luft wird ihm ganz unstetig, hubweis, zugeführt; seine Gewichtsbelastung hebt sich dabei, wenn mehr zu- als abfliesst, und sinkt im umgekehrten Falle, immer die Luft unter demselben statischen Druck entlassend. Das Musikwerk Orgel, das schon die Römer kannten (Vitruv), scheint Veranlassung zur Hinzufügung des Lufthalters zum uralten einfachen Blasbalg gegeben zu haben *).

Auch elastisch belastete Luftdruckhalter gebrauchen wir. Solche sind z. B. die „Regulatoren" der Gebläsemaschinen für Hüttenbetrieb, grosse Kessel, in die die Blasluft zuerst eingeliefert wird. Ein solcher „Regulator" ist ganz nahe verwandt mit dem Windkessel unter 9. und hat mit ihm die Zweckbestimmung gemein; er muss recht gross gemacht werden, um den Abfluss nur einigermafsen gleichförmig werden zu lassen. — Die Windladen der Kirchenorgeln bilden vor den Pfeifen kleine Druckhalter verwandter Art.

12. Unter „Pressluft" versteht man Luft, die ungleich höher gespannt ist, als die Blasluft der Hüttenwerke. Sie hat sich einen, noch stetig im Wachsen begriffenen Anwendungskreis erworben, namentlich in den Vereinigten Staaten. Zu ihrer Haltung dienen Gefässe, die aus stählernen Röhren von 230 bis 250 mm Weite zusammengesetzt sind und Luft von 200 at Spannung aufzunehmen vermögen. Ein Luftpresser zum Füllen solcher Haltungen wurde auf S. 184 besprochen, die Steuerung eines andern ebendaselbst. Für Hebezeugbetrieb ist die Pressluft ungemein geeignet; für Strassenbahnbetrieb ist sie schon mehrfach eingeführt, indessen noch nicht zu der erwarteten vollen Entwicklung gelangt **).

*) Daran wird der ungeübte Harmoniumspieler deutlich gemahnt, wenn er „Expression" zieht, die nämlich nichts anderes ist, als Ausschaltung des Lufthalters. — Zur homerischen Zeit war den griechischen Handwerkern der Lufthalter am Blasbalg noch unbekannt; die Menge der Bälge musste ihn ersetzen, wie z. B. die zwanzig in Hephästos' Werkstatt beim Schmieden von Achills Waffen. Noch heute fehlt der Lufthalter am Blasbalg des Handwerkers in Indien, China, Java, auch Binnenafrika, so viel und geschickt er auch an allen diesen Stellen schmelzt und schmiedet.

**) Die in Neuyork seit Mitte 1896 erscheinende Monatsschrift „Compressed air" gibt regelmäfsige Mittheilungen über den fortwährend steigenden Stand der Sache.

In Paris werden durch die Compagnie Parisienne de l'air comprimé gegen 3000 *PS* an Abnehmer zum Werkstättenbetrieb geliefert *).

13. Dass die Dampfkessel Haltungen sind, geht als Folgerung aus den vorstehenden Angaben hervor; zu ihrer Speisung mit Wasser tritt die ihrer Heizanlage mit Brennstoff. Bemerkenswerth ist, dass Papin's allererste Dampfmaschine von 1690 ohne Haltung wirkte, indem der Dampf im Kolbenrohr selbst erzeugt und nach Wegziehung des Feuers auch darin (durch Abkühlung von aussen) niedergeschlagen wurde. Später aber (1698) kam Papin auf die Einschiebung des Dampfkessels **).

14. Eine Hochdruck-Heisswasserhaltung, ausgeführt in Washington durch die National superheated water Company, liefert hocherhitztes Wasser durch eine gut eingehüllte Rohrleitung mit 26 bis 33 at Spannung, das sich vor dem Eintritt in die Dampfmaschine in Dampf verwandelt. — Hochdruck-Dampfhaltungen für grössere Abnehmerkreise sind in Neuyork von mehreren Gesellschaften eingerichtet worden.

15. Die bis hierhin aufgeführten Haltungen gelten alle für tropfbare oder für gasförmige Flude; es gibt aber auch solche für körnerige. Eine Haltung für Kohlen zur Lokomotivfeuerung haben wir S. 218 besprochen; gespeist wird sie durch einen Hunt'schen Umlader ***). In den Vereinigten Staaten sind Kohlenhaltungen dieser Art ungemein verbreitet und erweisen sich als höchst nützlich. Seit dem Mai dieses Jahres ist bei uns auf der Station Saarbrücken eine solche Kohlenhaltung mit Hunt'schem Umlader in Betrieb.

---

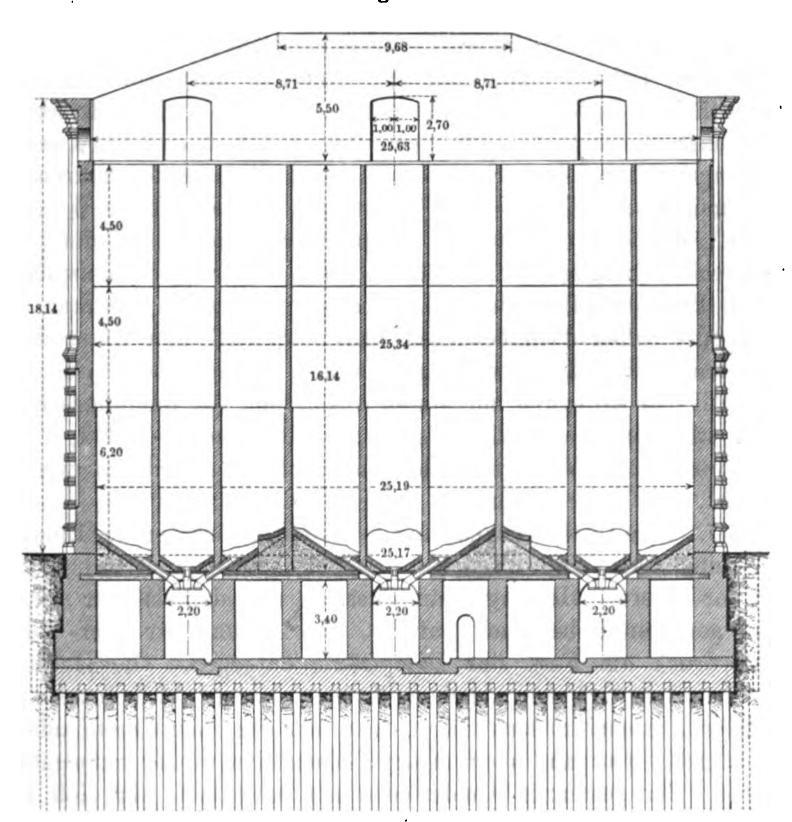
*) Die Zahl der Pressluftbaltungen steht nahezu in geradem Verhältniss zu der Zahl der in die Praxis eingeführten Luftpresser; folgende Zahlen aus Engineering Mechanics vom Mai 1898 sind deshalb lehrreich. Die Clayton Air Compressor Works, Havemeyer Building in Neuyork, haben in den Monaten Februar, März und April 48 Luftpresser geliefert. Davon waren 19 für den Betrieb von Quadersteinmeisseln, Eisenbehauern, Stemmwerkzeugen und Hebezeugen bestimmt; 9 für Bewegung und Hebung von Säuren, 4 für Pressluftpumpen, 3 für Gummiwaarenbearbeitung, 1 für Rohrpost, 2 für Oel- und Bierbewegung, 7 für verschiedene neue Zwecke. Ausserdem wurden 4 Luftpresser nach Europa zum Betrieb von Pressluftwerkzeugen verschifft.

**) Vergl. Reuleaux, Kurzgefasste Geschichte der Dampfmaschine, II. Aufl., Braunschweig 1891; auch Dr. E. Wintzer, Dénis Papin's Erlebnisse in Marburg, Marburg, Elwert, 1898.

***) Vergl. Reuleaux, Ueber die Hunt'schen Umlader, Glasers Annalen 1895, Bd. 36, S. 233.

Eine andere Haltung für körneriges Flud ist der Silo, der hohe, stehende Getreidebehälter, deren in der Regel mehrere nebeneinander gebaut werden; das Korn wird in sie durch Becherwerke und andere „Getreidepumpen“ gehoben, durch Schleppriemen (S. 157) quer befördert, auch unter Umständen von hochliegenden Bahnen aus von oben eingeschüttet, nach

Fig. 300



Bedarf sodann unten ausgelassen. Die Silospeicher sind in den Vereinigten Staaten zuerst im Grossen entwickelt worden und haben dem Getreidewelthandel und -Verkehr seine heutigen Formen gegeben. Grossartige Silospeicher hat die rumänische Regierung in Galatz und in Braila an der unteren Donau nach Entwürfen des Generalinspektors Saligny errichtet; die Ausführung hat die Maschinenfabrik von G. Luther in Braunschweig

musterhaft bewirkt. Fig. 300 (a. v. S.) zeigt im Querschnitt den seit 1893 im Betrieb befindlichen Silospeicher in Galatz. Derselbe enthält 162 sechskantige Zellen von 3,5 m, und 110 Stück von 2,5 m innerem Durchmesser und nahe 17 m Höhe; die Zellenwände bestehen aus Monierplatten *). Die Wichtigkeit der Silospeicher findet mehr und mehr Verständniss bei uns.

B. Unterdruckhaltungen.

16. Unterdruck- oder Tiefdruckhaltungen gibt es nicht so viele wie Ueberdruckhaltungen; immerhin aber sind sie von wesentlicher Bedeutung und unter Umständen Grossartigkeit. Ungemein wichtige Einrichtungen dieser Art sind die „Wasserhaltungen“ der Bergwerke. In ihnen wird durch fortwährendes Auspumpen der Grund- und Tagewasser der natürliche Wasserdruck, der der Grubentiefe entsprechen würde, auf den des Luftkreises herabgesetzt. Während in den früheren Beispielen durch Pumpen „Ueber“druck herbeigeführt wurde, bewirken sie hier, oder sollen doch bewirken, dass stets Tief- oder Unterdruck erhalten bleibe. Diese wichtige Aufgabe, die vor 200 Jahren die wesentlichste Anregung zur ersten Ausbildung der Dampfmaschine gab, tritt aus ihrer stillen Verborgenheit in grelles Licht, wenn bei Bruch und Versagung der natürliche Wasserdruck wieder eintritt, die Grube ersäuft.

17. Eine Unterdruckhaltung ist der Kondensator der Dampfmaschine. Als Watt diese Haltung einführte oder erfand, setzte er der oberen Haltung Dampfkessel, die damals nur einen sehr geringen Ueberdruck aufwies, die Haltung für Tief- oder Unterdruck am Fuss der Dampfsäule entgegen. Die Haltung Kondensator wird an manchen Stellen von der Dampfmaschine abgelöst, gesondert ausgeführt, was mit der Dampfkesselanlage schon früh geschah, aber in der Lokomotive wieder aufgegeben wurde. Der getrennte Kondensator als besondere, für sich bestehende Anlage, d. i. also die ausgebildete Tiefdruckhaltung für ganze Gruppen von Dampfmaschinen, ist in den letzten Jahr-

*) Näheres in der Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1892, S. 973 ff., C. Arndt (Ingenieur bei G. Luther), Die Silospeicher von Galatz und Braila; vergl. auch die Denkschrift von G. Luther über die Neugestaltung des Hafens von Odessa, Braunschweig 1889. — Ueber einen neuen amerikanischen Silospeicher mit 30 Zellen von 38′ Weite und 70′ Höhe, aus Stahl, s. Sc. American vom 25. Dezember 1897, auch Baumeister Buhles Mittheilung darüber in Glasers Annalen 1898, Mai, S. 187.



zehnten mehrfach einzuführen versucht worden. Nachdem auf den Seeschiffen die Oberflächenkondensation so wirksam die Einspritz-Niederschlagung verdrängt hatte, schien für die Landdampfmaschinen die „Abkühlung durch Verdunstung“ grosse Erfolge zu versprechen. Man ist indessen nach ausgedehnten Versuchsausführungen in letzterer Zeit wieder von ihr zurückgekommen und wendet nun für solche Tiefdruckhaltungen die Oberflächenkondensation an *).

18. Die von Hobrecht entworfene und in vollendeter Form ausgeführte Entwässerung der Stadt Berlin geschieht vermittelst vierzehn Tiefdruckhaltungen, genannt Radialsysteme, in denen der Unterdruck durch Dampfpumpwerke herbeigeführt und den Abwässern das erforderliche Gefälle verschafft wird. Die aufgenommenen Flüssigkeiten werden von Dampfpumpwerken durch Rohrleitungen zu den fern auswärts gelegenen Rieselfeldern befördert.

19. Unterdruckhaltungen von höchster volkswirthschaftlicher Bedeutung sind die sog. Polder, vermittelst deren weite Fennen oder Venne, die tiefer als der Meeresspiegel liegen, bewohn- und anbaubar gemacht worden sind. Die grossartigsten Polderanlagen hat Holland aufzuweisen. Seine Polder erstrecken sich über mehr als 17 deutsche Quadratmeilen oder 943 qkm oder rund 380000 Morgen Landes. Als Pumpmaschinen dienten (von 1440) bis 1840 namentlich Windmühlen; von da ab nahm man Dampf zu Hülfe. Das Harlemer Meer, das von 1841 bis 1850 trocken gelegt wurde, hatte eine Oberfläche von 183 qkm oder $3^1/_4$ deutsche Quadratmeilen. Vergleichen wir damit die oben erwähnte grosse Ueberdruckhaltung in Indien, am Peryar, so sehen wir, dass letztere nur etwas über $^1/_3$ so viel Oberfläche aufweist. Die Räumte des zu beseitigenden Wassers war freilich kleiner als die am Peryardamm aufgehaltene, betrug nämlich 75 Millionen Kubikmeter gegen die dortigen 500. Neuerdings hat Holland die Riesenarbeit begonnen, die Zuidersee, die allein 24 Quadratmeilen Oberfläche hat, zu poldern; zunächst ist der südliche Theil in Angriff genommen.

Im Kreise Preussisch-Holland haben die eingewanderten Holländer Polder angelegt. Neuerdings ist ein Abschnitt des

*) Bei uns werden solche Tiefdruckanlagen gebaut von den Fabrikanten Langen & Hundthausen in Grevenbroich und Klein, Schanzlin & Becker in Frankenthal.



Kurischen Haffs durch eine von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft ausgeführte Maschinenanlage mit Wurfradbetrieb zum Polder gemacht worden. Man hat dafür im Memeldelta vor dem Kurischen Haff ein Gebiet von 18000 Hektaren oder rund 72000 Morgen Landes eingedeicht und hebt daraus mit sechs, ringsum vertheilten Wurfrädern — ein siebentes Schöpfwerk ist im Bau — das Wasser in das Haff. Die Räder, die 8 m hoch und 1,68 m breit sind, werden von einer Dampfmaschine aus betrieben; die Kraftzuleitung geschieht elektrisch. Hebungshöhe 0,9 bis 1,8 m. Bei 0,9 m Förderhöhe wirft solch ein Rad sekundlich 1,7 cbm Wasser*).

20. Die künstlichen Wetterhaltungen der Bergwerke, die mit Fachrädern und Kapselräderwerken die verderbte Luft aus der Grube saugen, sind Tiefdruckhaltungen für Luft. Eine Tiefdruck-Lufthaltung für Kraftvertheilung ist in Paris durch die Soc. anonyme de distr. de force à domicile eingerichtet worden; in Betrieb seit 1885.

Als eine natürliche Tiefdruckhaltung ist die Meeresebbe anzusehen. Die zahlreichen Vorschläge, sie zu Kraftzwecken nutzbar zu machen, haben kaum Aussicht auf Verwerthung, weil die Kosten, die für die nöthigen Kraftanlagen aufzuwenden wären, im Verhältniss zur nutzbaren Leistung viel zu gross sind.

21. Die Haltungen für elektrischen Strom, abermals Akkumulatoren, aber auch wohl Sammler genannt — wir würden sagen können „Stromhalter“ —, sind physikalisch-chemischer Natur. Sie werden mit einem kräftigen Strom geladen, wobei an den „positiven“ Bleiplatten deren Gehalt an Bleisulphat in Bleidioxyd, an den „negativen“ Platten deren Gehalt an Bleioxyd in Blei verwandelt wird. Bei der Entladung geht unter dem austretenden Strom die Rückverwandlung vor sich.

II. Trackhaltungen

22. Haltungen mit Zugelement werden vermittelst der mehrerwähnten Wicklung erzielt; es sind namentlich Seile, Schnüre, Ketten, selten Bänder, die hier Verwendung finden. Eine Last wird mittelst eines Trackes, das sich auf eine Trommel wickelt, auf der es mit seinem Zopfende dauernd befestigt ist, aufgewunden und wirkt sodann beim Niedersinken treibend. Das Ver-

*) Näheres über diese schöne Anlage s. Elektrotechnische Zeitschrift 1897, Heft 39.

fahren wird vorzugsweise für kleinere Kraftbedürfnisse verwerthet, wie z. B. bei Uhren. Bei den einfachsten Hausuhren dient die Haltung für einen Tag, bei feineren für eine bis zwei Wochen, bei vereinzelten für ein ganzes Jahr (Harder'sche Jahresuhr). Bei den Wand- und Thurmuhren sind gewöhnlich zwei Trackhaltungen, eine für das Geh- und eine für das Schlagwerk, benutzt. Bei Thurmuhren fällt das erforderliche Arbeitsvermögen der Trackhaltungen manchmal schon recht gross aus. So z. B. wird das Schlagwerk der Westminster-Uhr in London alle vier Tage aufgezogen, und zwar durch einen Mann, der nahezu einen ganzen Tag dafür zu kurbeln hat. Das entspricht einem in die Trackhaltung aufgespeicherten Arbeitsvermögen von mindestens 300 000 kgm. Der Hammer des Schlagwerkes ist allerdings sieben Zentner schwer und mufs jedesmal 35 cm hoch gehoben werden*). Grosse Dienste leisten dem Verkehr und der Industrie die Trackhaltungen in den Laufwerken der Telegraphen, und in den Läutewerken der Eisenbahnen, sodann, wenn auch weniger bedeutungsvoll, in Rührwerken, Zeichengebern, wissenschaftlichen Anschreibwerken usw.; immerhin sind es viele Hunderttausende von Anwendungen, die hier aufzuzählen wären.

III. Haltungen aus starren Elementen

Haltungen mit Gewichten, die Hebel oder Radarme u. dergl. belasten, kommen vor, wie z. B. in den sog. Gegengesperren der Wanduhren, wo sie während des Aufziehens der Trackhaltung das Werk in Bewegung halten, sind aber von beschränkter Anwendung wegen ihres kurzen Ablaufs. Dagegen gibt es zwei andere Arten von Haltungen aus starren Elementen, die viel benutzt sind.

23. Die erste ist die „Haltung mit Federkraft". Die Federn sind kraftschlüssige Elemente aus starrem Stoff. Sie verhalten sich zu den gewöhnlichen starren Elementen, die nur vernachlässigbar kleine Formänderungen erfahren, wie die gasförmigen Flude zu den tropfbar flüssigen. Vorwiegend benutzt man zu Haltungen Spiralfedern und wendet diese bekanntlich an ähnlichen Stellen an, wie die Trackhaltungen. Sie haben mit letzteren die Verwandtschaft des Wickelns, besitzen aber sodann

---

*) S. Denison, a rudimentary treatise on clocks and watches, and bells, 5. Aufl., London 1860, S. 257.

die höchst wichtige, sie von ihnen unterscheidende Eigenschaft, dass sie in ihrem Gange von der Schwerkraftrichtung unabhängig sind. Das hat ihnen die ausserordentlich grosse und wichtige Verwendung in den tragbaren Uhren und anderen Getrieben verschafft; die Seefahrt gewann erst ihren Aufschwung durch die von Federn getriebene und von einer Feder geregelte Seeuhr, und ist heute mehr als je von ihr abhängig.

Die zweite Art der Haltungen aus starren Elementen ist diejenige, bei welcher Arbeitsvermögen „in der Form von lebendiger Kraft" aufzuspeichern ist. Während alle bis hierher aufgezählten Haltungen solche für statische Wirkung waren, sind die nun in Rede stehenden solche für dynamische Wirkung; wir können sie daher „dynamische Haltungen" nennen *).

24. Die wichtigste dynamische Haltung ist das Schwungrad. Es dient dazu, Arbeitsvermögen in der Form von lebendiger Kraft aufzusammeln und wieder abzugeben. Die in der gewöhnlichen Betriebsdampfmaschine der Kurbel ungleichförmig zugeführte Kraft wird durch das Schwungrad annähernd gleichförmig auf die Welle übertragen, indem es Ueberschüsse über die mittlere Kraft aufnimmt und bei Fehlbeträgen wieder abgibt; bei den Walzwerken wird während des Leerganges der Walzen dem Schwungrad ein sehr grosses Arbeitsvermögen durch Beschleunigung mitgetheilt und darauf beim Arbeiten der Walzen wieder entzogen. Bei den gewöhnlichen Kurbeldampfmaschinen nennt man das Verhältniss der Zunahme plus der Abnahme an Schnelle zum mittleren Werth der letzteren den Ungleichförmigkeitsgrad des Rades **).

Die Eigenschaft des Schwungrades als Haltung wurde auf den russischen Bahnen versuchsweise durch den sog. „Mahovos" zu verwerthen gesucht. Es war ein sehr schweres Schwungrad, das auf Reibrädern lief und die auf der flachen Strecke aufgenommene lebendige Kraft auf der steigenden Rampe an die Räder des Wagens, der es trug, abgab. Ausgestellt in Paris 1867 ***).

25. Hochwichtige Verwendungen findet die dynamische Haltung in den Gangreglern oder Regulatoren der Kraftmaschinen. Watts weltbekanntes, vorbildliches Schwungkugelpendel, dessen

*) Vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., Vorrede, S. XXVII.

**) Berechnung s. beispielsweise in Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., S. 733; Ausführliches in Radingers Dampfmaschinen, S. 87 ff.

***) Siehe Näheres in Engineering (London) vom 7. Januar 1870, Bd. IX, S. 3.



äussere Gestalt man nicht mit Unrecht zu einem Sinnbild des Maschinenwesens erhoben hat, ist eine „dynamische Haltung" von solcher Einrichtung, dass Zu- und Abnahme ihrer Umlaufsschnelle Verstellungen in der Gliederung des Getriebes bewirken, die den Triebstoffzulass verringern

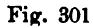
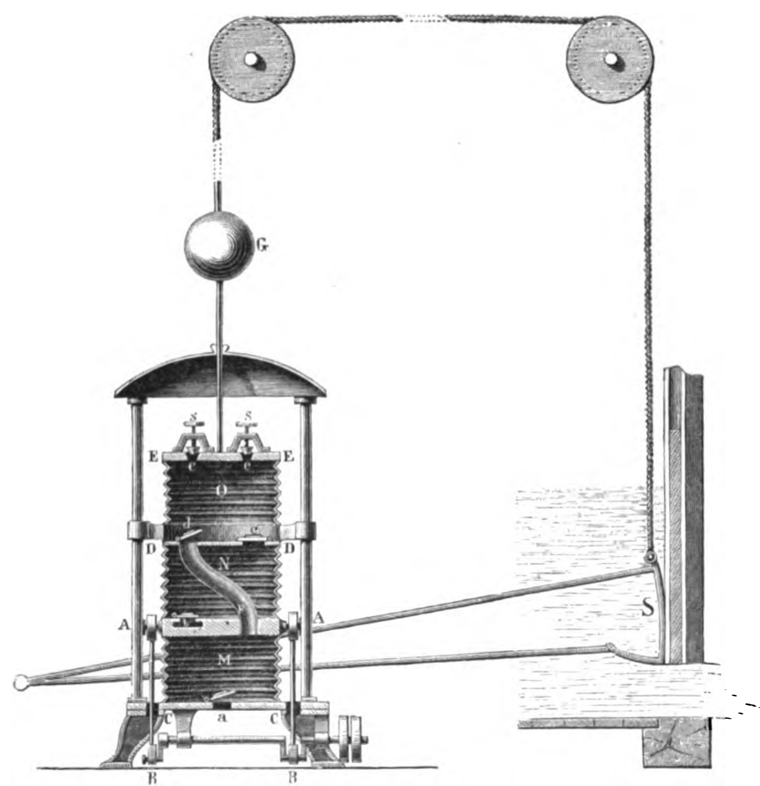


Fig. 301



oder vermehren. Sie ist bestimmt, den guten Gang der Maschine zu erhalten; man kann sie deshalb statt Gangregler auch Ganghalter nennen*). Eine ganze Nachkommenreihe von

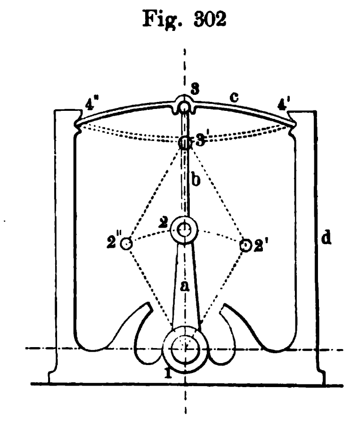
*) An unsrem Fremdwort „Regulator" erkennt man so recht die Irrigkeit der Annahme, die man vorschützen hört, als ob Fremdwörter das Verständniss zwischen den Nationen sicherten; die Franzosen nennen das Ding *modérateur*, die Engländer *governor*. Wir sollten deshalb lieber unsre eigene Sprache sprechen. Erst hier, nachdem ich den Haltungsbegriff ausführlich vorgetragen, konnte ich den Namen „Ganghalter" neben „Gangregler" in Vorschlag bringen.

Ganghaltern hat dieselbe eben angegebene Grundlage; vergleiche auch die drei Bauarten auf S. 173 und 182.

Es sei bemerkt, dass man statt der dynamischen Haltung auch eine statische einem Gangregler zu Grunde legen kann. Dies ist z. B. geschehen in dem häufiger genannten als benutzten Ganghalter von Molinié, Fig. 301 (a. v. S.), statische Lufthaltung mit Gewichtsbelastung und feinem Luftabfluss; sein Balgkolben ist durch einen Scheibenkolben mit Cylinder ersetzt worden durch Johnson *), auch Reigner-Poncelet, die Luft durch Wasser durch Georges **), ohne Aenderung des Grundgedankens.

Man hat in der viel umworbenen Aufgabe die dynamische Haltung noch anders zu verwenden gesucht, als die obige Begriffsbestimmung angibt, nämlich in den sog. „Trägheits"-Ganghaltern, aber mit wenig Glück. Denn die vorausgesetzte Unveränderlichkeit der Umlaufszahl der Schwungmasse ist nicht vorhanden. Eine bestimmte Umlaufszahl kann zeitenweise zwar erhalten werden, aber einmal ist sie hoch, einmal niedrig, je nachdem sie eingeleitet worden war, während wir vom Ganghalter verlangen, dass er immer auf eine und dieselbe wirkliche Umlaufszahl einstelle. Ganghalter, die nicht auf Haltung beruhen, gibt es auch; Luft und Wasser als widerstehende Mittel sind herangezogen worden, auch Reibung, wie z. B. bei den grossen Fernrohren zur Sternverfolgung, wo dem Triebwerke Reibungswiderstände zugeführt oder abgenommen werden, bis der genaue Lauf um die Erdachse eintritt.

Fig. 302



Erwähnt sei hier noch, dass bei den kornischen Hubmaschinen zum Pumpenbetrieb die Gangregelung ebenfalls durch Vermittlung einer Haltung geschieht; es ist der sogenannte Katarakt, eine Fludhaltung mit Gewichtsbelastung und kurzem, verstellbarem Ablauf, meist mit Wasser, seltener Oel, oder auch mit Luft wirkend, und Wasserkatarakt, Oelkatarakt, Luftkatarakt genannt. Kleine Abwand-

*) Polyt. Centralblatt 1856, S. 144.
**) Ebenda, S. 654.

lungen in den Einzelformen sind selbstverständlich zu finden; Kley wandte statt Gewichtsbelastung die Federbelastung, Fig. 302, an.

26. Endlich sei noch angeführt, dass das Pendel und die Unruh, die Taktgeber der Uhren, im Grunde genommen dynamische Haltungen sind, die wegen der Eigenschaft, dass ihre Schwingungen genau oder sehr annähernd zeitengleich stattfinden, die bekannten ausgezeichneten Dienste für die Zeitmessung leisten. Der Ablauf, den sie durch die Auslösung der Hemmung erfahren, wird ihnen bei jedem Schwung, oder, wie bei grossen Thurmuhren, etwa halbminutlich oder auch erst minutlich ersetzt (Mannhardts Uhr auf dem Berliner Rathhausthurm).

IV. Natürliche Haltungen in Körpern

Die weiter oben besprochenen natürlichen Haltungen, als welche sich die Gebirgsseen, die Gasquellen usw. ergeben haben, tragen alle die kinematische Grundform der „Leitung“ an sich. Ganz dicht an der Grenze des kinematischen Gebietes gibt es aber noch Haltungen physikalischer Art, die hier anzuführen sind. Es sind die Brennstoffe.

27. In Steinkohle, Braunkohle, Torf, Holz, Pflanzen überhaupt hat die Wirkung der Sonnenwärme eine grosse mechanische Arbeit chemisch aufgespeichert, die physikalisch nutzbar gemacht werden kann und gemacht wird. Man kann daher die soeben genannten Gebilde auch Haltungen in unsrem Sinne nennen. Sie unterscheiden sich aber wesentlich von den vorhin behandelten dadurch, dass sie bei Freigebung ihrer Leitung nicht ablaufen, wie das Wasser, der Dampf, die Luft usw., sondern zu dem Ende erst in Brand gesetzt werden müssen. Während jene sämmtlich der Anziehung der Erde folgen oder ihr entgegenstreben, gehorchen diese der ganz andersartigen, aber im kleinsten Raume mächtigen chemischen Anziehung oder Abstossung. Wenn entzündet, beginnen die Brennstoffe als Haltungen abzulaufen; wir regeln den Ablauf durch die Feuerungsanlagen. Unentzündet bleiben die Brennstoffe mechanisch unthätig, weshalb man sie auch „unthätige Haltungen“ nennen dürfte. Die Bedeutung, die sie im Maschinenwesen als Vermittler der Naturkräfte haben, braucht nicht besonders geschildert zu werden.

Natürliche und künstlich errichtete Kohlenvorräthe auf dem Land und auf Schiffen bilden, hier ganz abgesehen von der Behandlung der Kohlen als körneriges Flud (S. 218), Haltungen

von der grössten Bedeutung. Wie sehr dies unter Umständen in den Vordergrund treten kann, zeigt der im Gange befindliche spanisch-amerikanische Krieg.

28. Eine unthätige Haltung von grosser, ja augenblicklich noch stark wachsender Bedeutung ist das Erdöl in seinen verschiedenen Formen. Früher bloss als Lichtquell, wird es jetzt als Kraftquell, als Krafthaltung in Anspruch genommen. Grosse Aussichten scheinen sich dabei zu eröffnen. Was die Oelkraft technisch auszeichnet, ist, dass sie aus einer „unthätigen" natürlichen Haltung unmittelbar zur Wirkung gelangt, der eingeschobenen „thätigen" Haltung Dampfkessel also entrathen kann. Deutschland hat, wie seiner Zeit bei der Gaskraftmaschine, bei der Oelkraftmaschine die Führung übernommen.

29. Andere „unthätige" natürliche Haltungen bieten der Sprit, auch andere Kohlenwasserstoff-Verbindungen; eine halb künstliche, halb natürliche „unthätige" Haltung gewährt das Acetylen, jetzt wesentlich für Licht, bald aber auch wohl für Kraft gebraucht.

30. Künstliche unthätige Haltungen sind die Schiefs- und Sprengstoffe, die in einer grossen Anzahl von Zusammensetzungsarten Verwendung finden. Beachtenswerth ist, dass Papin in Marburg 1687 bei seinen Bestrebungen, in der Kolbenröhre die ersehnte Luftleere herbeizuführen, Schiefspulver anwandte; als ihm das nur sehr ungenügend gelang, kam er bei seinen weiteren Versuchen endlich zur Niederschlagung von Wasserdampf in der Röhre. Jetzt benutzen wir die Schiefsstoffe kaum anders, als in Kanone und Schiefsgewehr und zum Sprengen; die technische Kraftmaschine mit Schiefsstoffbetrieb ist immer noch als zu theuer erkannt worden. Die „Unthätigkeit" der Schiefsstoffe macht sie tragbar und verfrachtbar, also erst eigentlich praktisch verwendbar.

§. 53

Wichtigkeit der Haltungen

Die gegebene Uebersicht über die verschiedenen Arten von Haltungen zeigt, dass dieselben eine hoch hervorragende Stellung im Maschinenwesen einnehmen; denn wir finden sie über das ganze Gebiet der Maschinentechnik verbreitet.

Die Dampfmaschine mit ihren 25 bis 30 Millionen Pferdestärken empfängt ihr Betriebsflud, den Dampf, aus Haltungen,

desgleichen die Gaskraftmaschine, und zwar theils aus eigenen, meistens aber aus den für Beleuchtung eingerichteten Haltungen; zu einem grossen Theil entnehmen auch die Wasserkraftmaschinen das Betriebsflud aus künstlichen Haltungen, die übrigen sehr häufig aus natürlichen. Die Wasserleitungen der Städte, die Oelleitungen in Erdölgebieten werden fast ausnahmslos mit Haltungen betrieben. Die Schiffahrtsschleusen heben und senken die Fahrzeuge mittelst Haltungen, deren Speisung eine der wichtigsten Fragen bei Kanalentwürfen ist. Niederdruck- oder Tiefdruckhaltungen entfernen die Wasser aus den Gruben; Hochdruckhaltungen dienen zum Betrieb von Kranen, Aufzügen, Prägepressen, Schmiedepressen usw. mit Hochdruckwasser; die Reihe gerade dieser Verwerthungen der Haltungen ist in raschem Wachsthum begriffen.

Aus Lufthaltungen, für Ueber- wie Unterdruck, sehen wir die Rohrpost, gewisse Tunnelbohrmaschinen, zahlreiche Hebezeuge, auch Strassenbahnwagen betrieben; auch der Torpedo birgt eine Hochdruckluftthaltung für sein verborgenes Fortbewegungsmaschinchen. Elektrische Stromhaltungen sind ein wesentliches Mittel geworden, unstetiger Entnahme durch ziemlich stetigen Kraftbetrieb gerecht zu werden.

Die Trackhaltungen leisten für kleinere Kraftbedürfnisse, wie die der Wanduhren, der Telegraphen und anderer Einrichtungen unzähligemal Dienste, der wichtige Glockenzeichendienst auf den Eisenbahnen wird von ihnen mit Triebkraft versorgt.

Die starren Elemente liefern die unentbehrlichen dynamischen Haltungen, als welche sich die Schwungräder und der grösste Theil der Ganghalter oder Gangregler der Kraftmaschinen ergeben haben; die Federaufzüge in den tragbaren Uhren*) sind von kaum zu schildernder Wichtigkeit für die Kultur.

Trotz dieser Bedeutung der Haltungen hatte man sie in der theoretischen Maschinenlehre nicht ausgeschieden; der Verfasser that das in Veröffentlichungen vor einem Jahrzehnt**), vorher in seinen Vorlesungen. Die Zwanglauflehre führte nämlich mit Nothwendigkeit zu der Frage, aus welchen Quellen denn der Bewegungszwang die mechanischen Kräfte schöpfe. Die daraufhin

*) Jährlich werden über 6 Millionen Taschenuhren erzeugt und, wie es den Anschein hat, auch verbraucht.

**) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. XXVII.

angestellte Untersuchung führte dann auf die grossartige Anwendung des Haltungsbegriffes, die im Vorausgehenden in gedrängter Kürze vorgeführt worden ist. Die Benutzung dieses Begriffes geht so weit, dass der Leser sich veranlasst sehen könnte, zu fragen, ob nicht nach alledem die Haltung zu den Grundeigenschaften der Maschine gehöre und demnach in der Begriffsbestimmung der letzteren (§. 38) ihren Platz hätte finden müssen.

Das ist aber nicht der Fall. Denn es gibt auch Maschinen, die ohne Haltung betrieben werden. Das sind namentlich die meisten Arbeitsmaschinen, deren Zahl ja ungemein gross ist, vor allem die durch Muskelkraft betriebenen; das treibende Geschöpf als eine Haltung in Anspruch nehmen zu wollen, würde fruchtlose Pedanterei sein. Aber auch eine wichtige Kraftmaschinengattung hat keine Haltung. Das sind die Petrolmaschinen, die sich ja mehr und mehr zu einer Bedeutung aufschwingen, mit der die Dampfmaschine bald zu rechnen haben wird. Gerade dass man die Haltung, mit der ja bei der Dampfmaschine Gefahren verbunden sind, hier entbehren kann, wird als Vorzug bei sonst ähnlichen Verhältnissen entscheidend sein können. Auch die Heissluftmaschinen besitzen oder besassen (denn sie scheinen verschwinden zu sollen) keine Haltung, wenn man von der kleinen Wärmemenge, die auf dem Feuerrost beisammen war, absieht; das Fehlen der Haltung erschwerte geradezu ihr Aufkommen. Auch die Windräder arbeiten ohne Haltung; denn Haltungen im Luftmeer, die denen für Wasser im Hochgebirge (S. 353) und den Seen im Mittelgebirge entsprächen, gibt es nicht; mit bewunderungswürdigem Geschick hat man die Schwierigkeiten, die daraus folgen (vergl. S. 214), zu überwinden verstanden. Dem gelegentlichen Mangel an Haltungen für Wasser, der einerseits den Kraftmaschinenbetrieb erschwert, andrerseits die Uebermasse der Niederschläge verheerend auftreten lässt, suchen wir, nach langer Versäumniss, durch den endlich in Aufnahme kommenden Thalsperrenbau abzuhelfen.

So ist denn die Haltung nicht ein, nach dem logischen Sprachgebrauch, „wesentlicher“ Theil der Maschine an sich, wohl aber ein ganz hervorragend wichtiger Theil des Maschinenwesens. Wer als Ingenieur oder als Lehrer mit dem klar erkannten Haltungsbegriff rechnet, arbeitet, entwirft, zu erläutern sucht, wird ungleich schneller und leichter zum Ziele gelangen, als es

ihm ohne denselben möglich ist. Das Begriffliche, das überhaupt in der Kinematik in vorderer Linie steht, kommt hier besonders wirksam zur Geltung.

§. 54

Treibung

Wenn in einem Mechanismus die zur Verfügung stehende Naturkraft (S. 247) eines der Glieder in Bewegung versetzt, so wird dessen Bewegung auf die übrigen beweglichen Glieder übertragen. Die Bewegung in jedem Glied wird alsdann dessen Axoidrollung entsprechen, kann also verschieden von der Bewegung des erstgenannten Gliedes ausfallen. Man darf alsdann sagen, dass jene erste Bewegung durch den Mechanismus in die Bewegungen der andern Glieder „verwandelt" werde. Mit dieser äusserlichen Beobachtung haben die ersten Theoretiker der Kinematik vor einem Jahrhundert begonnen und die Mechanismenlehre als „Lehre von der Verwandlung der Bewegungen" aufgebaut. Diese Auffassung ist lange gepflegt worden und hat sich in Resten, die aber immer schwächer und hinfälliger werden, bis in unsre Tage erhalten; das Geschichtliche wurde im I. Bande, in der Einleitung, eingehend vorgetragen.

Man übersah bei der Zugrundelegung dieser Auffassung ganz, dass viele Mechanismen gar nicht den Zweck haben, Bewegung zu verwandeln, wie z. B. die ganze Reihe der gewöhnlichen Räderwerke, sondern nur dieselbe Bewegung auf andere Theile zu übertragen, sei es schneller, sei es langsamer, sei es gleichschnell. Das Wesentliche an der erwähnten Beobachtung war, dass Bewegung weiter geleitet, übertragen wird, dass das von der Kraft erfasste Glied die andern beweglichen Glieder „treibt", jedes Glied das nächstfolgende, und zwar in bestimmten Bewegungen treibt. Man übersah, dass das erwähnte erste Glied, dem man den hervorragenden Rang des „Rezeptors", Kraftempfängers, beilegte, sich in dieser Kraftfrage nicht unterscheidet von seinem Nachfolger, da ja dieser wieder Nummer Drei ebenso treibt, wie der vornehm scheinende „Rezeptor" Nummer Zwei trieb. Es blieb unerkannt, dass die „Treibung" oder „Uebertragung" die Hauptsache war, nicht die Verwandlung. Die Leitung arbeitete man bei der erwähnten Anschauung hinein, so gut es gehen wollte,

die Haltung blieb ganz unerwähnt, jedenfalls unerkannt, und die Gestaltung, auf die wir ja weiter unten einzugehen haben, wurde stillschweigend, wie etwas ganz Fremdes, der Technologie überlassen, die aber selbst noch in den Anfängen steckte. Es war also nur eines von den vier Untersuchungsgebieten (S. 254), was die alte Mechanismenlehre zu bearbeiten unternahm. Ihre Bemühungen waren nun keineswegs fruchtlos; ihre Grundsätze aber können für das eigentlich wissenschaftliche Verfahren heute nicht mehr verwerthet werden, da sie nur sammelnd, nur „encyklopädisch" an die Aufgabe gehen. Auch die Treibung selbst kann mit jenen Grundsätzen nicht mit Erfolg durchforscht werden, da denselben dazu die theoretischen Unterlagen fehlen.

Uns tritt bei der Untersuchung der Treibung alsbald als sehr bemerkenswerth entgegen, dass der in ihr Verwendung findenden Getriebe gar nicht viele sind. Trotz der ungeheuren Zahl von Maschinen, die es gibt und die es geben wird, sind der Gattungen von Treibmechanismen nur fünf bis höchstens sechs, oder mit andern Worten, auf so wenige lassen sich die zahllos scheinenden Treibmachanismen zurückführen. Einen Mechanismus, den wir bloss zum Treiben, zum Uebertragen von Bewegung, als Bewegungsträger gebrauchen, nenne ich ein Treibwerk, oder auch kürzer, wie schon oben, S. 175, im Anschluss an praktische Gebräuche geschah, einen „Trieb". Die erwähnten fünf Triebgattungen sind:

Schraubentrieb, *Kurbeltrieb*, *Rädertrieb*,

Kurventrieb, *Gesperrtrieb*.

Hierzu kommt noch als Nummer Sechs der bei der Leitung schon in Betracht gekommene *Rollentrieb*, vergl. S. 326, dessen Einordnung sowohl bei der Leitung, als hier bei der Treibung gefordert werden kann, je nachdem die eine oder andere Eigenschaft vorwiegt*).

Die Kleinheit der Anzahl der Treibwerke ist von Wichtigkeit. Denn das Studium dieser fünf bis sechs Mechanismengattungen ist erschöpfend für das ganze Gebiet des Maschinenwesens, so weit es sich um Bewegungsübertragung handelt. Wer die wesentlichen Treibwerke kinematisch kennt, braucht also nicht bei jeder Maschinenart aufs neue in ihre Untersuchung einzutreten; somit

*) S. auch in Bd. I, S. 586.

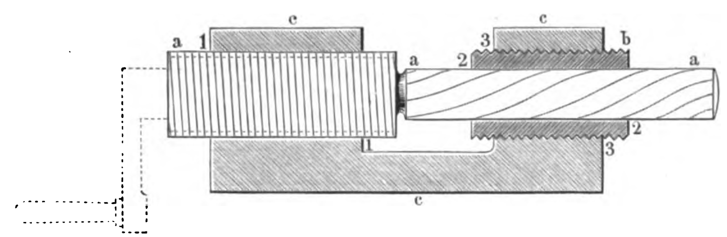
ergibt sich auch hier eine Vereinfachung in der Behandlung der Aufgaben. Niemand wird, angesichts der ungeheuren Anzahl von Maschinenarten, glauben, dass diese Behandlung spielend leicht sei; aber einmal durchgemacht, ist sie bleibend nützlich. Aufgabe der „angewandten“ Kinematik ist es, alle sechs Triebgattungen ganz vollständig zu behandeln; hier müssen wir uns mit beweiskräftigen Beispielen begnügen. Um aber das Verfahren möglichst klar zu machen, möchte ich die „Schraubentriebe“, als aus einer sehr schlichten Kette hervorgehend, hier einigermafsen eingehend behandeln.

§. 55

Schraubentriebe

Den einfachsten Schraubentrieben — und nur diese wollen wir behandeln — liegt eine kinematische Kette von drei konaxialen Schraubenpaaren $S^{\pm}_{=} S^{-}$ zu Grunde. Fig. 303 stellt sie

Fig. 303



unter der Voraussetzung, dass die Glieder starr und die drei Schraubenpaare von fester Steigung sind, dar; zu schreiben ist sie ausführlich:

$$\begin{array}{ccccccc} S^{+} \ldots & | & \ldots S^{\pm}_{=} S^{-} \ldots & | & \ldots S^{\pm}_{=} S^{-} \ldots & | & \ldots S^{-}_{=} \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{array}$$

oder zusammengezogen (vergl. Bd. I, S. 551) (S'_3). Je nachdem die drei Schrauben steigen, d. h. Steigung haben, ergeben sich aus (S'_3) verschiedene Mechanismen. Wir wollen von denselben vorerst die allereinfachsten untersuchen. Man erhält sie, wenn man beim Paar 1 die Steigung = Null macht, worauf das Paar in das Drehkörperpaar übergeht, das wir wie früher $C^{\pm}_{=} C^{-}$ oder abgekürzt (C) schreiben, und beim Paar 3 die Steigung unendlich

setzt, wobei das Paar ein Prismenpaar $P^{\pm}_{=}P^{-}$ oder (P) wird. Die Formel für die Kette lautet dann:

$$\begin{matrix} C^{+} \ldots & | & \ldots S^{\pm}_{=}S^{-} \ldots & \| & \ldots P^{\pm}_{=}P^{-} \ldots & \| & \ldots C^{-}_{=} \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{matrix}$$

oder etwas kürzer:

$$C^{+} \ldots | \ldots (S) \ldots \| \ldots (P) \ldots \| \ldots C^{-}_{=}$$

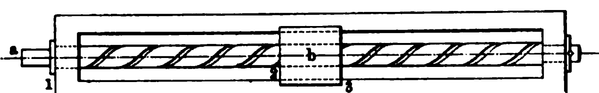
und zusammengezogen $(C' S' P'')$, wofür man auch, wie S. 265 schon bemerkt, setzen kann:

$$(C' S' P'), \text{ oder auch ganz kurz } (C S P),$$

da die Verkettbarkeit überhaupt schon voraussetzt, dass (S) und (C) konaxial und (S) und (P) parallel sind; das heisst: die Achsen des Cylinders 1 und der Schraube 2 müssen zusammenfallen, und die Kanten des Prismas 3 müssen den Achsen von 1 und 2 parallel sein, wenn die ganze Gliederung bei spielfreier Ausführung überhaupt gangbar sein soll. Verwechslungen sind daher bei dieser einfachen Schreibweise nicht zu besorgen. Die Kette ist inhaltreicher, als auf den ersten Anblick angenommen werden möchte; Fig. 304 stellt sie dar.

Sie kann als dreigliedrig, wie wir von S. 169 wissen, auf drei Arten zum Mechanismus gemacht werden, da wir sie auf jedes

Fig. 304



ihrer Glieder stellen können. Hätte sie allgemeiner n Glieder, so erhielten wir aus ihr n Mechanismen. In jedem Falle bleiben von den drei Gliedern zwei, und allgemein von den n Gliedern $n-1$ beweglich. Leiten wir nun in eines dieser beweglich gebliebenen Glieder Triebkraft in geeigneter Richtung ein, so wird aus dem Mechanismus ein Treibwerk oder ein Trieb. Demnach gelangen wir zu folgendem Satz:

XXI. Aus einem $n$gliedrigen Mechanismus oder Getriebe kann auf $n(n-1)$ Arten ein Treibwerk oder ein Trieb gemacht werden.

Auf unsere Schraubenkette (CSP) angewandt, besagt dies, dass aus derselben auf 3 mal 2 oder 6 Arten ein Trieb gemacht werden kann. In der Anschreibung setzen wir (vergl. Bd. I) das

Zeichen des treibenden, d. i. die Triebkraft empfangenden Gliedes als Bruchnenner unter dasjenige des Aufstellungsgliedes. Diese Anschreibung haben wir weiter oben schon einigemal angewandt, vielfach im ersten Bande. Hier zeigt sich, dass das Wesen der „Treibung“ an einem Mechanismus durch sie völlig klar ausgedrückt werden kann. Diese sechs Triebe sind:

$$(CSP)_{\frac{c}{a}},\ (CSP)_{\frac{c}{b}},\ (CSP)_{\frac{b}{a}},\ (CSP)_{\frac{b}{c}},\ (CSP)_{\frac{a}{b}},\ (CSP)_{\frac{a}{c}}.$$

Wir wollen sie in Kürze durchlaufen und auf ihre Anwendungen unsre Aufmerksamkeit richten.

1. $(CSP)_{\frac{c}{a}}$ ist viel im Gebrauch, unzähligemal als Befestigungsschraube, also als Aufbaumittel (§. 40). Vielfach tritt dieser Trieb als Mechanismus in vollständige Maschinen ein, so bei den Kreuzschlitten der Hobelmaschinen und Drehbänke, wo sie meistens zu dritt übereinander angewandt sind, s. Fig. 305; in dem Mastenkran Figur 161, S. 216 diente er zum Bewegen des Streben-Fusses 3 auf der Bahn 4.

Fig. 305
Kreuzschlitten

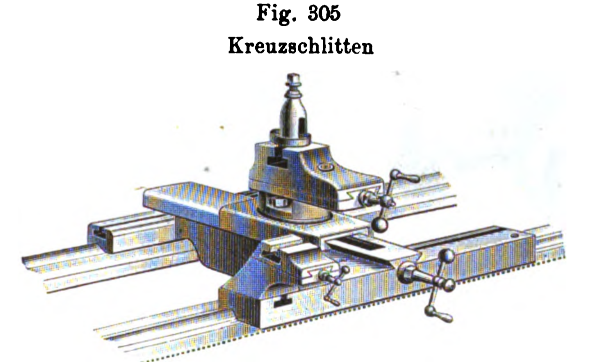
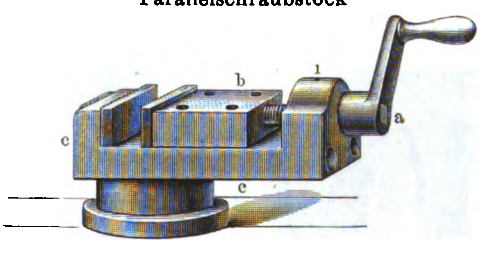


Fig. 306
Parallelschraubstock



In allerlei Geräth findet der Trieb Verwendung, so in dem Parallelschraubstock, Fig. 306, der auch auf dem Kreuzschlitten schon als Hülfsmittel angebracht ist. Ferner in dem Richtbock, Fig. 307, auch in Schraubwinden, Fig. 308 *), auch Flaschenwinden

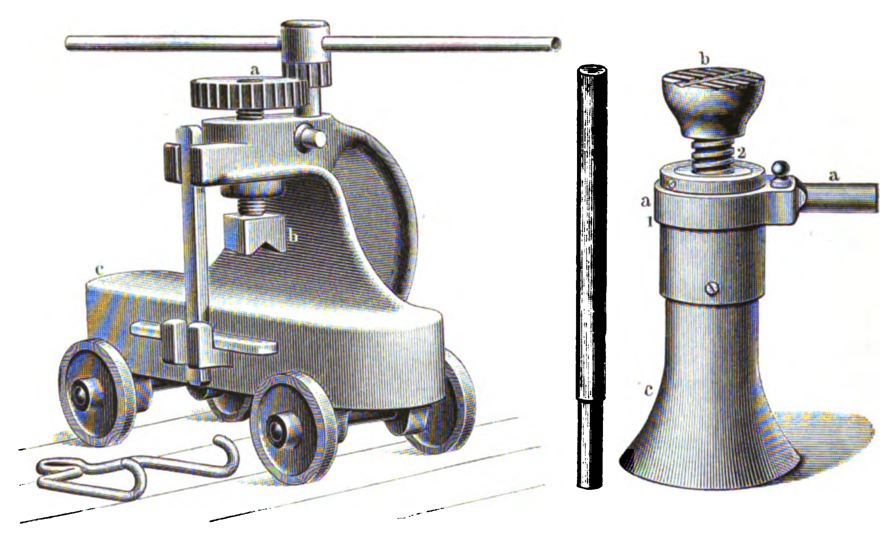
*) Von unsrer älteren, schwerfälligen Schraubwinde, bei der man sich in der äusseren Anordnung an die alten Wagenwinden anschloss, s. Abbildung in Weisbach-Herrmann, Ing. u. Masch.-Mechanik III, 2, S. 24.

genannt, wie die Amerikaner sie verbreitet haben. Ein sehr praktisches Geräth ist das Westcott'sche Spannfutter *) oder Bohr-

Fig. 307 Fig. 308



Fitchburger Richtbock Riehles Schraubwinde

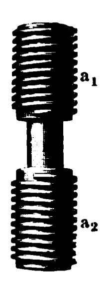


futter, Fig. 309. Hier sind zwei Triebe $(CSP)_{\overline{a}}^{c}$ vereinigt, so zwar, dass die vereinigten Schrauben a_1 und a_2 eine Zwiselschraube bilden; die streng gleichseitige Bewegung der Glieder

Fig. 309

Westcotts Bohrfutter





b_1 und b_2 sichert das axiale Festspannen des zu haltenden, genau cylindrisch hergestellten Werkzeugschaftes. Das Aufspannen, Fest-

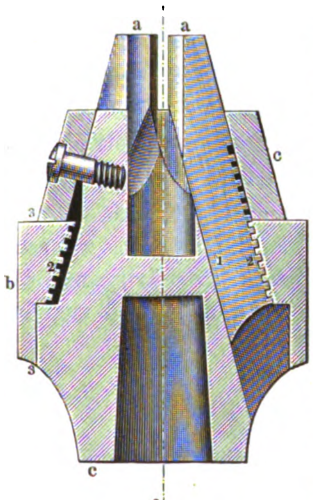
*) The Westcott Chuck Company in Oneida, Staat Neuyork.

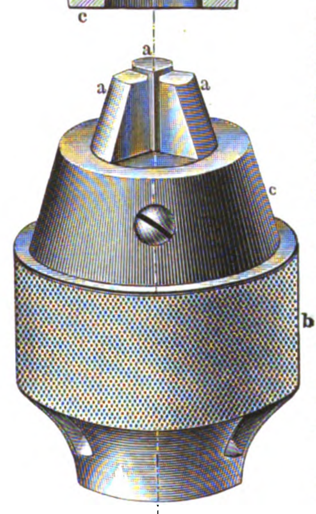
spannen, Einspannen in der Maschinenwerkstatt ist ein zeitweiliges Aufbauen (§. 40)*).

Es scheint angezeigt, an dieser Stelle noch ein anderes, sehr viel gebrauchtes Spannfutter zu erläutern, bei dem nur (CSP) zur Verwendung kommt, aber mit einem Schraubenpaar, das nicht zu den niederen oder Umschlusspaaren, sondern zu den höheren Paaren gehört. Es ist das in Fig. 310 abgebildete der Skinner Chuck Company in New Britain, Connecticut**). Drei Backen *a* sind prismatisch schräge gegen das auf der Drehbankspindel festsitzende Stück *c* geführt und werden durch eine auf *c* drehbare Hülse mit Hohlkegelgewinde K_s^- vor- und zurückgeschoben. Die Kettenformel lautet für jeden der drei Backen:

Fig. 310

Skinners Bohrfutter





*) Die Amerikaner haben mit vorzüglichem Geschick die Aufspanner zum Gegenstand eines blühenden Industriezweiges gemacht und sie dabei wesentlich ausgebildet. Selbständig ist in diesem Gebiet bei uns die Schweiz vorgegangen; die Anregungen dazu gehen namentlich auf den Schweizer Bodmer in Manchester zurück. Die grösste kinematische Genauigkeit ist für die Aufspanner Hauptbedingung; wird sie innegehalten, so erleichtern diese Vorrichtungen die Arbeit des Maschinenbauers ausserordentlich; auch werden unter dieser Bedingung die Werkstätten, die sich bei uns auf den Gegenstand geworfen haben, für ihre Mühe entschädigt werden. Wie die Dinge aber zur Zeit stehen, ist die Auswahl drüben so reich, und ist in guten Häusern die Herstellung der Hülfsmittel so vorzüglich, dass die Einfuhr derselben noch stets im Zunehmen begriffen ist.

**) Nahe verwandte amerikanische Spanner sind das „Beach"-Bohrfutter, das „Philadelphia"-Bohrfutter, das „Horton"-Bohrfutter u. a. m., die sämmtlich durch die Werkzeughandlungen von Diechmann & Sohn, Schuchardt & Schütte, Selig jr. & Cie in Berlin in vorzüglicher Beschaffenheit eingeführt werden und verbreitet worden sind.

$$\begin{matrix} C^+ & \ldots \angle \ldots & P^-_= P^+ & \ldots \angle \ldots & K_s^+, K_s^- & \ldots \mid \ldots & C^-_= \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{matrix}$$

Sie weicht von (CSP) bloss durch das höhere Paar K_s^+, K_s^- ab (vergl. unten bei Fig. 335). Letzteres lässt sich gut ausführen, indem man die Hohlkegelschraube ganz rein schneidet, die Zahnformen auf den Backen aber so ausführt, dass sie wenigstens auf dem Mittelrist genau in die Schraubengänge des Hohlkegels passen. Dabei erreicht man die grosse Einfachheit der Bauart, die die Figur erkennen lässt und eine ganz genaue Verschiebung der Backen. In der zusammengezogenen Form können wir das Paar K_s^+, K_s^- mit $(\tilde{S})$ bezeichnen, worauf denn das Getriebe des ganzen Futters $3(C\tilde{S}P^{\angle})$ zu nennen sein wird. Das Gewinde in dem Hohlkegel ist linksgängig. Dreht man daher das Stück b „vorwärts" gegen c, oder hält es mit der Hand fest, während man die Drehbankspindel im gewöhnlichen Vorwärtsgang sich bewegen lässt, so rücken die Backen nach aussen und zugleich

Fig. 311
Schraubkeilmafs

zusammen, und zwar stets gleichmäfsig, sodass der zwischen sie gebrachte Cylinder stets konaxial zur Drehbankspindel bleibt, wie beim obigen Futter.

Eine hübsche Anwendung von $(CSP)_a^c$ in einem Messwerkzeug ist die in dem Schraubkeilmafs, Fig. 311*). Zwei ganz

---

*) S. Grimshaw, Shop Kinks, 2. Aufl., Neuyork 1896, S. 74.

genau gleichwinklige Keile sind aufeinander gestürzt und gegeneinander durch das Prismenpaar 3 geführt. Sie werden durch die in c gelagerte Schraube a, deren nur hälftig ausgeführte Mutter sich in b befindet, gegeneinander verschoben. Der Nullpunkt auf b ist so angebracht, dass man an ihm auf der Theilung, die an der Kante 3 von c eingegraben ist, den Abstand der Grundflächen in Bruchtheilen von Zoll oder Millimeter ablesen kann.

Fig. 312
Schraubenpresse

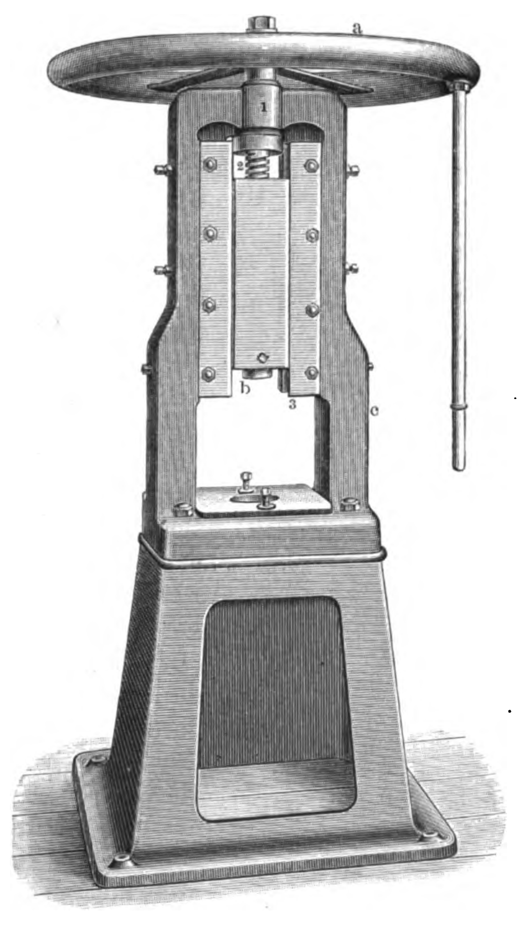
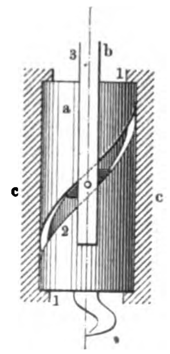


Fig. 313
Whitworths Stichelwender

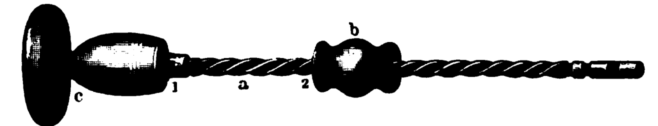


Zur vollständigen Maschine ausgebildet ist der Trieb $(CSP)\frac{c}{a}$ in der Presse Fig. 312. Das Prismenpaar 3 ist dabei besonders fein und sorgfältig ausgeführt, damit ja kein Spiel entsteht. Bei der Winde in Fig. 308 fehlt dieses Prismenpaar, wird aber ersetzt durch die Undrehbarkeit der durch b zu hebenden Last.

2. $(CSP)\frac{c}{b}$ ist benutzt in Whitworths Stichelwender für Hobelmaschinen, Fig. 313. Die Schraube a, die nur eine halbe

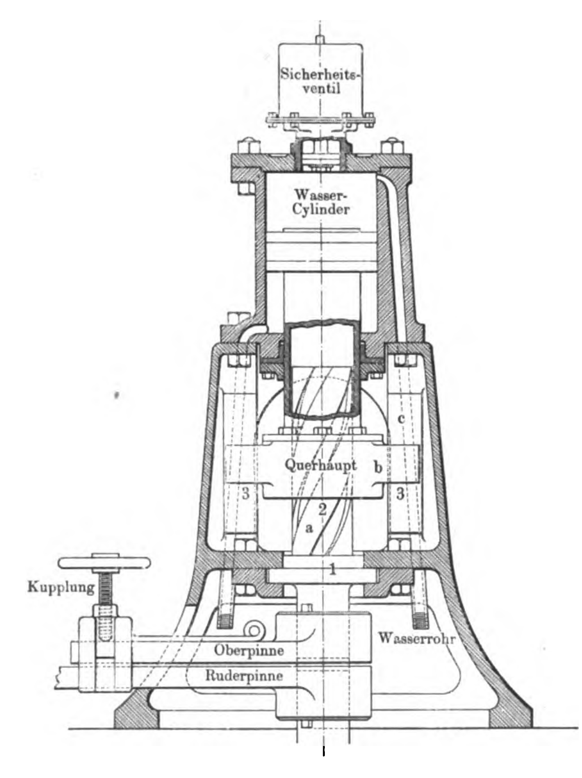
nutzbare Schraubenwindung an sich trägt, wird durch Schieben von *b*, auf oder ab, um eine halbe Drehung gewendet. Ein viel gebrauchtes Geräth aus derselben Kette ist der in Fig. 314 ab-

Fig. 314
Brustbohrer



gebildete „Brustbohrer"; die prismatische Führung der Mutter *b* wird durch den Arbeitenden mit der Hand bewirkt*). Für den Steuerruder-Betrieb eignet sich der Trieb auch, da es sich hier stets um kleine Drehwinkel handelt. Fig. 315 stellt Lafargues Steuer-Maschine dar. Auf die Ruderachse oder das „Ruderherz" wirkt unmittelbar der Trieb $(CSP)\frac{c}{b}$, wobei aber das Glied *b* durch Wasserdruck von einem Hochdruckhalter aus bewegt wird, der Steuermann also mit einem Handhebel nur die Ventile des Wassercylinders zu stellen hat.

Fig. 315
Lafargues Steuermaschine



Bei Skinners Steuermaschine**), ebenfalls $(CSP)\frac{c}{b}$, wirkt an

*) Zu beziehen beispielsweise von Selig jr. & Cie in Berlin.
**) S. Engineer 1868, Bd. XVI, S. 182.

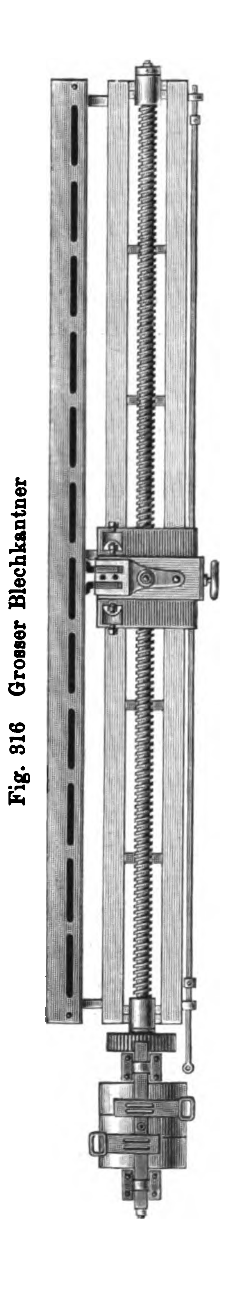


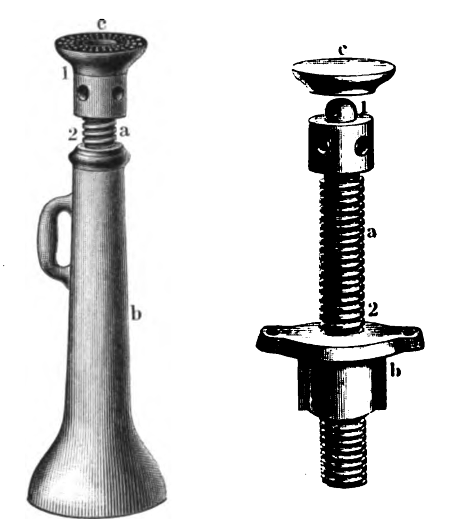
Fig. 316 Grosser Blechkantner

Stelle des ebengenannten Cylinders ein Schraubentrieb $(CSP)\frac{c}{a}$ mit Spillenrad; die Reibung der letzteren Schraube hält dort das Ruder in jeder Lage steif; für Flussdampfer sehr brauchbar.

3. $(CSP)\frac{b}{a}$ liefert sehr brauchbare Schraubwinden in mancherlei Formen. Eine sehr hübsche Anwendung solcher Winden zeigt Fig. 316 (a. v. S.), die einen grossen Blechkantner darstellt. Statt mit den üblichen Druckschrauben, die im Spannbaum ihr Muttergewinde finden, wird hier das zu behobelnde Blech mit Schraubwinden gegen den Tisch gepresst. Diese Winden sind nicht gleich der obigen, Fig. 308, sondern stehen auf b, nicht auf c. Nie zu vergessen ist bei Vergleichungen, dass man in den niederen Paaren, hier im Schraubenpaar (S), die Schraube mit der Mutter, oder Plus mit Minus, stets vertauschen darf, ohne die Kette zu ändern *). Fig. 317 zeigt unter a eine handliche Winde von der im vorigen Fall benutzten Gattung, unter b eine desgleichen, die für die mit Recht berühmten Häuserhebungen Verwendung findet **).

Fig. 317

a. Glockenfusswinde b. Haushebungswinde



$(CSP)\frac{b}{a}$ eignet sich sehr gut auch zur Presse, weil sich unterhalb des Gliedes c das Press-„Gebiet" so bequem anbringen lässt. Fig. 318 stellt eine so gebaute Presse dar, bestimmt zum Zusammenpressen von Papier, Pappe, Büchern, Tuch u. dergl.; unzählige Anwendungen dieser Pressbauart zeigen die Kopirpressen für kaufmännische Geschäfte.

4. $(CSP)\frac{b}{c}$ ist wenig benutzt, kommt aber mit sehr steiler

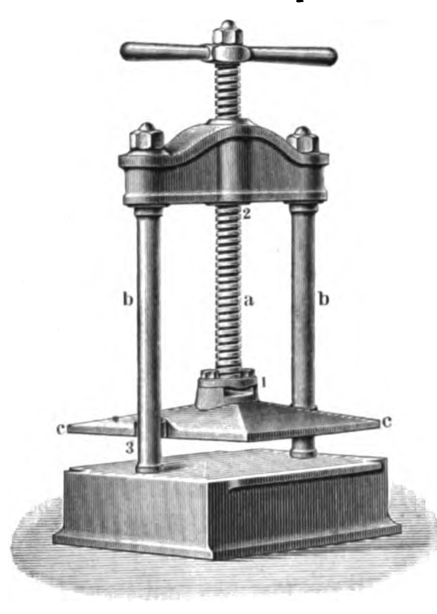
*) Ausführliches hierüber s. Bd. I, S. 97 ff.

**) Beide Stücke werden von der „W. & S." Hydraulic Machinery Works, Neuyork, geliefert.

Schraube gelegentlich vor, z. B. als Umsetze-Trieb in Gesteinsbohrmaschinen (vergl. Konstrukteur, IV. Aufl.).

Fig. 318

Andere Schraubenpresse



5. $(CSP)\frac{a}{b}$ und

6. $(CSP)\frac{a}{c}$ sind anscheinend noch unbenutzt; immerhin mag es Stellen geben, wo man diese Triebe verwerthen könnte.

Unsre Untersuchung hat ergeben, dass von den sechs (CSP)-Trieben vier innerhalb von Maschinen als „Mechanismen" Verwendung finden, dass mit dreien „Geräthe" gebildet worden sind, und dass aus zweien „Maschinen", und zwar Pressen von genau unterscheidbarer Gattung gemacht werden.

Hier erhebt sich die Frage, wie viele Gattungen von Maschinen aus einer Kette gebildet werden können. Das wird davon abhängen, welches Kettenglied mit seiner eigenthümlichen Bewegung die im Satz XIV hervorgehobene „bestimmte Wirkung" auszuüben haben wird. Zwei Glieder, das Aufstellungsglied und das kraftaufnehmende, sind bereits in Anspruch genommen. Das bewegliche davon, das kraftaufnehmende, kann auch nicht in Betracht kommen, selbst wenn man ihm noch die Maschinenleistung zumuthen wollte, da es ja dann nicht als Kettenglied, sondern als Partner-Element zu seinem Nachbar am Aufstellungsglied gelten könnte. So bleiben denn von den n Gliedern $n-2$ für die Ausübung der Maschinenwirkung übrig. Hieraus ergibt sich denn der folgende wichtige Satz:

XXII. Aus einer gegebenen $n$gliedrigen kinematischen Kette können $n(n-1)(n-2)$ Gattungen von Maschinen gebildet werden.

Dass aus jeder Maschinengattung noch verschiedene „Arten" von Maschinen, die den Einzelzwecken angepasst sind, gebildet

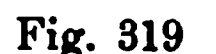
werden können, hat unsre Zusammenstellung ausführlich gezeigt. In unsrem Falle ist $n = 3$, also die mögliche Anzahl von Maschinengattungen $3 \times 2 \times 1 = 6$, d. h. jeder der sechs Triebe kann nur eine Maschinengattung liefern. Das stimmt auch mit unsrem bisherigen Befund überein. Die Ausbildung der Gattung zu Arten ist Sache des eine besondere Richtung verfolgenden Fachmannes.

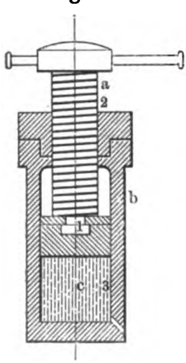
Das Ergebniss, dass von den möglichen sechs Maschinengattungen, die die (CSP)-Kette hergeben könnte, bisher nur zwei wirklich gebildet worden sind, scheint als Ausbeute nicht gross. Indessen wir haben noch lange nicht die ganze Arbeit gethan. Es ist nämlich zu beachten, dass wir jedes der drei Glieder einzeln als Flud (S. 157) ausführen können. Das kann also dreimal geschehen, und jedesmal wird die Kette eine andere; wir erhalten daher aus den möglichen sechs Grundfällen $6 \times 3 = 18$ Triebarten. Welche davon nutzbar gemacht worden sind, ist nun nachzusehen.

Machen wir zuerst c zum Flud, so geht die Kette in folgende über:

$$\left.\begin{array}{ccccccc} C^{+} \ldots & | & \ldots S^{\pm}_{=} S^{-} \ldots & \| & \ldots P, F \ldots & \ldots & F, \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{array}\right\} (CSF)$$

zusammengezogen zu schreiben (CSF); Fig. 319 stellt sie dar*). Der Erläuterung bedarf nur eine Stelle, das ist die Paarung zwischen a und dem Flude c. Die Paarung liegt als Cylinderpaarung (C) vor, aber dieses Paar könnte auch fehlen; die Schraube


Fig. 319



würde dann unmittelbar auf das Flud c drücken. Der Widerspruch löst sich durch die Betrachtungen, die wir S. 272 ff. angestellt haben, wonach die „Kolben“ als starre Abschlüsse der Fludstränge anzusehen sind. So ist es auch hier. Deutlicher nur, als es beim Weglassen des Kolbens geschähe, tritt nur die Führung des Fluds im Prisma 3 an b hervor. Die Kette liefert wieder sechs Triebe, darunter sehr wichtige. In der Zählung schliessen wir an die frühere an.

7. $(CSF)\frac{c}{a}$ ist nicht benutzt.
8. $(CSF)\frac{c}{b}$ „ „ „

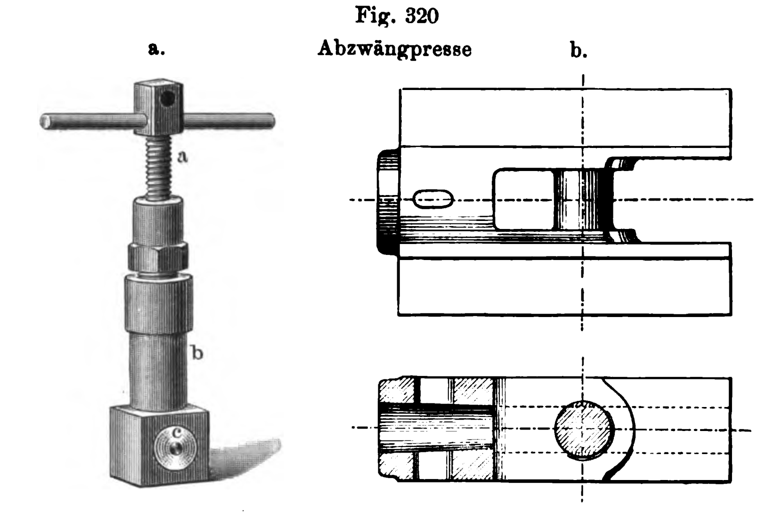
*) Das Komma in 3 ist das Zeichen der Paarung zwischen P und F, s. Bd. I, S. 252.

9. $(CSF)\frac{b}{a}$ liefert als Maschinen einer und derselben Gattung: Bleirohrpresse, Teig- oder Nudelpresse, Kelter, Filterpresse, Heu-, Woll- u. Baumwollpresse, Ziehpresse, Prägepresse, Druckerpresse. Dabei ist das Flud: halbflüssig, teigig, gemischt aus Fasern und Tropfen, faserig, schmiedbar, körnerig, breiig.

Auf eine hübsche und lehrreiche Anwendung möchte ich noch besonders hinweisen; es ist die in Fig. 320 a dargestellte Abzwängpresse*). Sie dient dazu, aufeinander gezwängte Maschinen-

Fig. 320

a. Abzwängpresse b.



theile wieder zu trennen und ist in erster Linie für die Lokomotivwerkstätte bestimmt. In Querhäupter von der in Fig. 320 b dargestellten Bauart ist nicht selten das kegelig verjüngte Kolbenstangenende durch die „übermäſsige" Schliessung (S. 257) so fest eingepresst, dass gewöhnliche Mittel, die Stücke zu trennen, nicht verfangen; mit dem Abzwänger gelingt dies aber leicht. Die Schraube *a* drückt mittelst eines Kölbchens auf eine Oelfüllung des Gehäuses *b*, und diese auf den quer zur Schraubenachse gerichteten, mit *c* bezeichneten Kolben. Das Untertheil des Abzwängers ist klein genug, um zwischen den Zapfen des Querhauptes und den Kolbenstangenscheitel geschoben werden zu können. Einige Drehungen der Schraube *a* genügen alsdann,

*) Der „W. & S." Hydraulic Machinery Works in Neuyork.

das Querhaupt abzuzwängen. Der Trieb, der vorliegt, ist $(CSF)\frac{b}{a}$, ausführlich geschrieben:

$$\left.\begin{array}{ccccccccccccccc} C^{+} & \ldots & | & \ldots & S^{\pm}_{=}S^{-} & \ldots & \| & \ldots & P, F_p & \ldots & \perp & \ldots & F_p, \\ 1 & & a & & 2 & & b & & 3 & & c & & 1 \end{array}\right\} (SF_pC)$$

Ich habe hierin das Vorhandensein des festen Abschlusses „Kolben“ an jedem Ende des Fludstranges durch die Anfügung des Zeigers p (Prisma) an den Buchstaben F deutlich gemacht. Dass die beiden Kolben als Theile des Fludstranges zu betrachten sind, ist wieder ganz deutlich, da man ja — bei ganz dichtem Zusammenpassen von Schraube und Mutter — das Kölbchen unter a sofort weglassen, auch den Abschluss durch den Querkolben entbehren könnte, wenn sich nur die Fludsäule gut auf den wegzudrückenden Körper aufsetzen liesse. Mit grossem Geschick ist im vorliegenden Abzwänger die vorzügliche Eigenschaft des bildsamen Elementes Flud benutzt, um die Druckkraft rechtwinklig zur Schraubenachse wirken zu lassen, und ausserdem eine bedeutende Kraftübersetzung herbeizuführen. — Eine andere hübsche Anwendung von (SF_pC) ist W. Hunts Nachsteller für Pleuelköpfe, Schraube auf harte Stahlkügelchen wirkend.

10. $(CSF)\frac{b}{c}$ liefert bei ganz steiler Schraube das gezogene Geschütz und Gewehr, s. Fig. 321; Flud gasförmig, drückt unmittelbar auf Schraube a.

11. $(CSF)\frac{a}{b}$ ist, wie es scheint, nicht benutzt.

12. $(CSF)\frac{a}{c}$ „ „ „ „ „ „

Eine sehr wichtige Form nimmt die Kette an, wenn man b zum Flud macht. Die Formel lautet dann:

$$\left.\begin{array}{ccccccccccc} C^{+} & \ldots & | & \ldots & S, F & \ldots\ldots\ldots & F, P & \ldots & \| & \ldots & C^{-}_{=} \\ 1 & & a & & 2 & b & 3 & & c & & 1 \end{array}\right\} (SFC)$$

Fig. 322 stellt die Kette dar. In der Engschreibung kann das Element P weggelassen werden, weil annähernde Führung des Fluds schon genügt.

13. $(SFC)\frac{c}{a}$ liefert: Archimedische Schraube, vergl. Figur 165 d und e, sodann Cagniardelle, s. Fig. 323 (vergl. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 888), das Schwamkrug'sche Schraubengebläse *), die

*) S. Weisbach-Herrmann, Ing. u. Masch.-Mechanik III, 2, S. 1256.

Fig. 321
Küstengeschützrohr

Schrauben(wind)fache *), die Schlickeysen'sche Thonpresse und ihre Anverwandten **), die Schleppschraube. Das Flud ist: tropfbar flüssig,

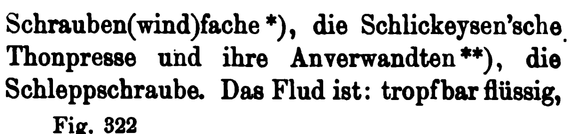


Fig. 322

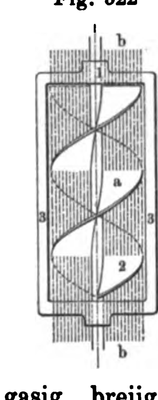
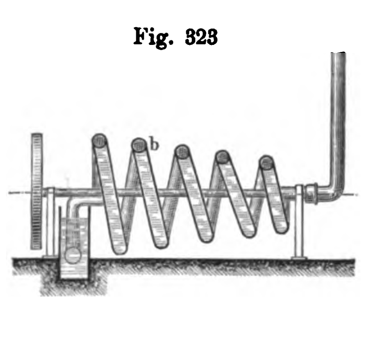
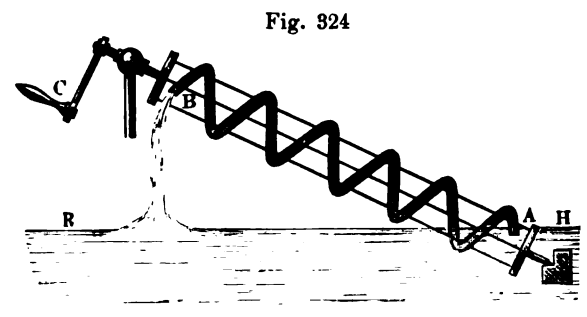


Fig. 323



gasig, breiig, pulverig, stückig, faserig usw. Alle aufgeführten Verwendungen sind Maschinen, die kinematisch einerlei Art sind. In den drei zuerst angeführten Maschinen wird durch Kraftschluss, der die Wasserblöcke verhindert, sich drehend zu bewegen, die Prismenführung 3 ersetzt, vergl. Fig. 324; bei der Windfache

Fig. 324



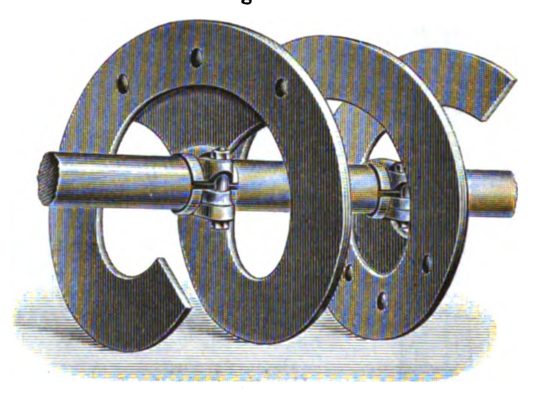
wirkt die Luftreibung in ähnlichem Sinne. Bei der Schleppschraube, deren Schraubenkörper, s. Fig. 325 (a. f. S.), jetzt Gegenstand gesonderter Fabrikation ist, ist aber die halb gefüllte Rinne das Prisma vom Gliede *c*. Die „hollän-

Das Rohr besteht aus übermäfsig geschlossenen Cylinder-Paaren (*C*).

*) S. Weisbach-Herrmann, Ing. u. Masch.-Mechan. III, 2, S. 1248.
**) Kick u. Gintl, Techn. Wörterbuch IX, S. 370.

dische Wasserschraube", die statt der archimedischen, Fig. 165, gebraucht wird, hat, wie die vorliegende Schleppschraube, eine halb-

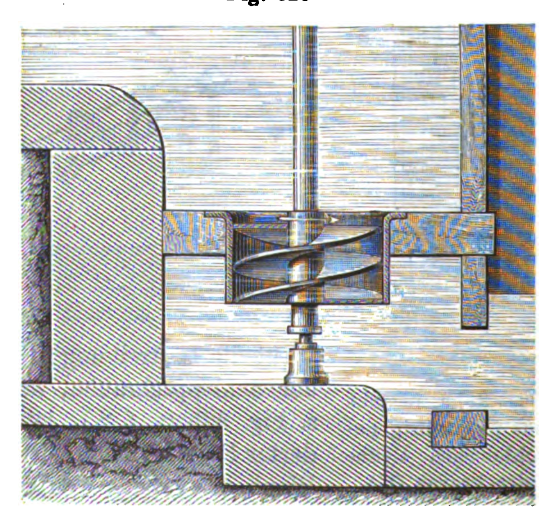
Fig. 325



cylindrische Rinne, dazu Schraubengänge, die bis auf die Achse gehen.

14. $(\tilde{S}FC)^{c}_{\overline{b}}$ liefert: Platarets Schraubenturbine ohne Leitrad, Fig. 326, die mehr in Lehrbüchern, als in

Fig. 326



der Praxis zu finden ist, den Woltmann'schen Flügel, das Anemometer, das Windrad, siehe

Fig. 160, S. 214, die Girard'sche Stromturbine*) usw., alles Kraftmaschinen, vom Flud getrieben, das entweder tropfbar oder gasförmig flüssig ist.

15. $(\tilde{S}FC)\frac{b}{a}$ liefert die Triebschraube am Schiff, Torpedo, Wasser- wie Luftfahrzeug; Flud tropfbar oder gasförmig-flüssig.

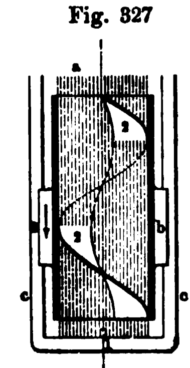
16. $(\tilde{S}FC)\frac{b}{c}$ angewandt beim mechanischen Log, das vom Schiff vorwärts geführt wird und dessen Schraubenrädchen a dabei durch die Wasserpressung umgetrieben wird. Aehnlich wirkt diese Pressung auf den Woltmann'schen Flügel, wenn man diesen bei seiner Aichung durch das stehende Wasser führt, auch bei einem bekannten Kinderspielzeug. Wenn ein Schraubendampfer segelt, wird ebenso seine Triebschraube, wenn sie nicht aufgeholt oder auf Steigung 90° gestellt werden kann, umgetrieben.

17. $(SFC)\frac{a}{b}$ anscheinend nicht benutzt.

18. $(SFC)\frac{a}{c}$ " " "

Die Maschinen unter (13) bis (16) haben alle die werthvolle Eigenthümlichkeit, dass mit ihnen dauernde Bewegungen, dank

Fig. 327



dem Flud, verwirklicht werden, während bei denen aus der starrgliedrigen Kette (CSP) nur Kehrbewegung möglich ist; daher die grosse Verwendbarkeit der ersteren. Das Zeichen ∼ über dem S in den Fällen (14) bis (16) zeigt an**), dass man der Schraube wegen besserer mechanischer Wirkung nicht die gleichförmige Steigung der starren Schraube aus (CSP), sondern eine ungleichförmig fortschreitende Steigung gibt.

Es bleibt noch übrig, das Glied a in (CSP) zum Flud zu gestalten. Geschieht es, so lautet die Formel:

$$\left.\begin{array}{ccccccccc} F & \ldots\ldots\ldots & F, S \ldots & \| & \ldots P^{\pm}_{=} P^{-} \ldots & \| & \ldots C, \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{array}\right\} (FSP)$$

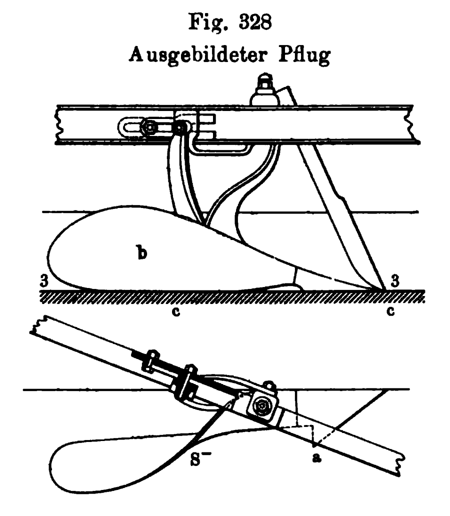
*) S. Weisbach-Herrmann, Ing. u. Masch.-Mechanik II, 2, S. 373.
**) S. Band I, S. 250.

Hier kann in der Engschreibung das Paar (C) unausgedrückt bleiben, da es mehr oder weniger undeutlich wird. Fig. 327 (a. v. S.) stellt die Kette dar. Die Paarung zwischen Schraube und Flud ist klar, ebenso die zwischen b und c; die des Fluds bei dem Drehkörper 1 ist, da wir keinen Kolben hinzugenommen haben, nur angedeutet, die Drehbarkeit aber vorhanden. Von den sechs Trieben aus (FSP) gilt was folgt.

19. $(FSP)\frac{c}{a}$ nicht benutzt.
20. $(FSP)\frac{c}{b}$ liefert den ausgebildeten Pflug. Flud körnerig, schollig, stückig, auch weich, sandig.
21. $(FSP)\frac{b}{a}$ nicht benutzt.
22. $(FSP)\frac{b}{c}$ „ „
23. $(FSP)\frac{a}{b}$ „ „
24. $(FSP)\frac{a}{c}$ „ „

Den einzigen angewandten von den sechs Trieben aus (FSP), den Pflug, stellt Fig. 328 dar. c ist ruhender Boden, mit dem das Kolter bei 3 prismatisch gepaart wird, wie das Wasser mit dem Steuer am Schiff. Mit dem Kolter P^+ ist fest verbunden zum Gliede b die Hohlschraube S^- in Form der Pflugschar b; das Flud a ist der durch die Pflugschar S^- in Drehung versetzte Krumestreifen. Dieser Streifen wird entweder um zwei rechte Winkel gewendet, wie Fig. 329 a darstellt, oder um etwa drei Viertel davon, wie unter b angenommen ist; die Schraubensteigung der Schar wird entsprechend eingerichtet. Beim ausgebildeten Kraftpflug wird die geradlinige Fortführung des Pfluges durch eine Winde mittelst Drahtseils bewirkt.

Fig. 328
Ausgebildeter Pflug

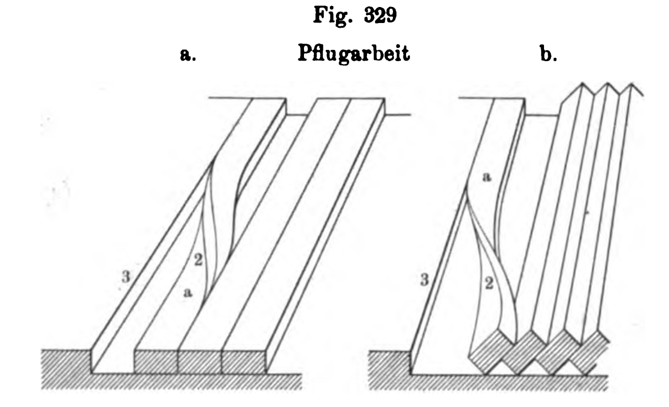


Im Ganzen sind von den möglichen 18 Fludschraubentrieben aus (CSP) sieben Stück in meist hochwichtigen Formen angewandt. — Unser Ueberblick ist aber immer noch nicht beendet; denn wir haben von den Formen, die die Kette (S_8') annehmen

kann, nur diejenigen behandelt, welche die besondere Form (CSP) dieser Kette liefert. Da wir vollständig sein wollten, müssen wir

Fig. 329

a. Pflugarbeit b.



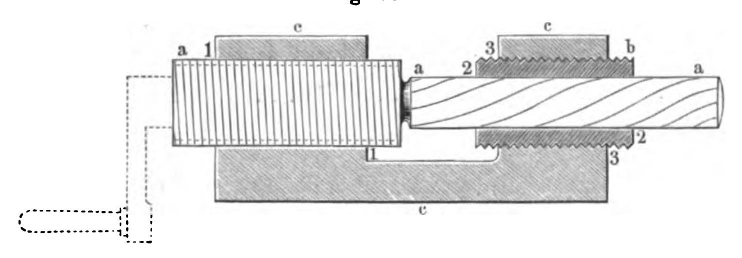
die noch übrigen Formen nun auch noch nachholen, was in Kürze geschehen soll. Auch sie liefern aber noch wichtige Triebe.

Die Kette (S_3'), von der wir zu Anfang des Paragraphen ausgiengen, lautete:

$$\begin{array}{ccccccc} S^{+} \ldots & | \ldots & (S) \ldots & | \ldots & (S) \ldots & | \ldots & S^{-}_{=} \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{array}$$

Sie liefert, wenn wir die Reibung nicht als hinderlich ansehen, oder die Steigungen so gewählt annehmen, dass sie nicht hindert, drei gleiche Mechanismen und sechs der Art nach gleiche

Fig. 330



Triebe, d. i. also nur eine einzige Art von Trieb. Er ist neu und besitzt eine gewisse Mannigfaltigkeit in den gleichzeitigen Drehungen und Fortschreitungen. Als Muster können wir nehmen $(S_3')\frac{c}{a}$. Sind dann die gleichzeitigen Fortschreitungen und Umdrehungen, s. Fig. 330:

von a gegen c . . . . x_1 und n_1,
 „ a „ b . . . . x_2 „ n_2,
 „ b „ c . . . . x_3 „ n_3,

so hat man bei den Steigungen s_1, s_2 und s_3:

$$x_1 = n_1 s_1, \qquad x_2 = n_2 s_2, \qquad x_3 = n_3 s_3.$$

Es ist nun $x_2 = x_1 - x_3$, also $n_2 s_2 = n_1 s_1 - n_3 s_3$, aber auch $n_2 = n_1 - n_3$, somit:

$(n_1 - n_3) s_2 = n_1 s_1 - n_3 s_3$, oder $n_1 (s_2 - s_1) = n_3 (s_2 - s_3)$, woraus folgt:

$$\frac{n_3}{n_1} = \frac{s_2 - s_1}{s_2 - s_3}, \text{ oder auch } = \frac{s_1 - s_2}{s_3 - s_2},$$

und nun:

$$x_3 = n_1 s_3 \frac{s_1 - s_2}{s_3 - s_2} \quad . \; . \; . \; . \quad (35),$$

als ob die Fortschreitung durch eine vierte Schraube herbeigeführt würde, die die Steigung

$$s_4 = s_3 \frac{s_1 - s_2}{s_3 - s_2} \text{ besäſse.}$$

1. Beispiel. $s_2 = -s_1$ *liefert* $s_4 = 2 s_1 s_3 : (s_1 + s_3)$, *stets Vorwärtsbewegung; bei* $s_3 = {}^1/_2 s_1$ *kommt* $s_4 = s_1^2 : 1{,}5 s_1 = {}^2/_3 s_1$.

2. Beispiel. s_2 *positiv und* $> s_1$, *aber* $< s_3$ *gibt Rückwärtsbewegung.*

3. Beispiel. Gefordert $s_4 = {}^1/_{10} s_1$. *Dann ist* ${}^1/_{10} s_1 = s_3 (s_1 - s_2) : (s_3 - s_2)$ *oder* ${}^1/_{10} = (1 - s_2/s_1) : (1 - s_2/s_3)$. *Hieraus folgt* $s_2/s_1 = 1 + {}^1/_{10}(s_2/s_3 - 1)$. *Wählt man nun, was freisteht,* $s_2 : s_3 = 5$, *so kommt* $s_2 = s_1 [1 + {}^1/_{10}(5 - 1)] = 1{,}4 s_1$, *im Ganzen also:* $s_2 = 1{,}4 s_1$, $s_3 = {}^1/_5 s_2 = 0{,}28 s_1$. *Eingesetzt liefert* $s_4 = 0{,}112 s_1 : 1{,}12 s_1 = {}^1/_{10} s_1$, *wie verlangt.*

Macht man in einem der Schraubenpaare, z. B. in 3, den Steigungswinkel $= 90^0$, so nimmt die Kette folgende Form an:

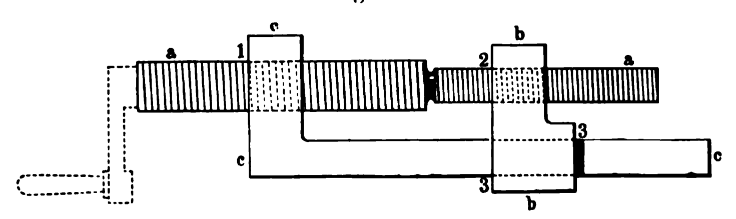
$$\left.\begin{matrix} S^+ \ldots & | & \ldots (S) \ldots & \| & \ldots (P) \ldots & \| & \ldots S^- \\ 1 & a & 2 & b & 3 & c & 1 \end{matrix}\right\} (S_2 P)$$

Fig. 331 stellt sie dar. Sie bietet nur zwei Mechanismen, da die Stellungen auf b und c nichts Verschiedenes liefern.

$(S_2 P)\frac{c}{a} = (S_2 P)\frac{b}{a}$. Diesem Trieb hat Prony vor etwa 100 Jahren den etwas hochtrabenden Namen Differentialschraube gegeben, da bei gleicher Steigungsrichtung die Fortschreitung $x_3 = n_1 (s_1 - s_2)$ wird, indem die beiden unendlichen Grössen s_3 sich aufheben. Wichtiger für die Namengebung ist die Zweiheit der Gewinde am selben Stück, weshalb der Verfasser den schlich-

teren Namen Zwiselschraube vorgeschlagen hat. Die Hunter'sche Presse und der White'sche Schraubstock*), beide mit langsam steigender Zwiselschraube ausgerüstet, sind wegen ihrer unbe-

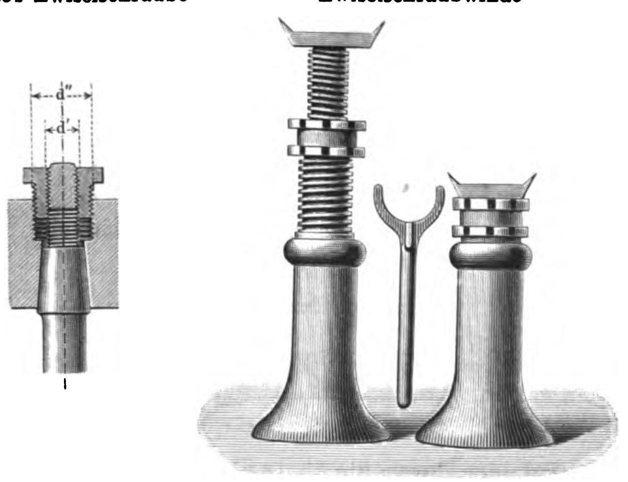
Fig. 331



quemen Schraubenlänge aufgegeben. Zu brauchen ist indessen die Einrichtung bei Aufbauten mit übermäfsiger Schliessung (§. 40); hübsche Anwendung in der Hastie'schen Kolbenbefestigung, Fig. 332, bei der $s_4 = s_1 - s_2 = 1/2$ mm gemacht wird. Eine

Fig. 332
Hasties Zwiselschraube

Fig. 333
Zwiselschraubwinde



Zwiselschraubenwinde von Riehle in Philadelphia zeigt Fig. 333; sie wird nicht sehr häufig angewandt.

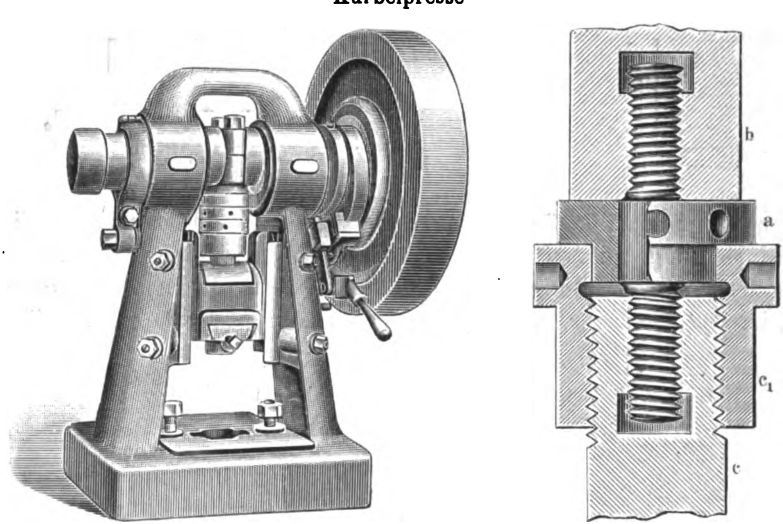
Sehr gebräuchlich dagegen sind die Triebe mit gegenläufiger Zwiselschraube, bei denen $s_1 = -s_2$ und demzufolge $s_4 = 2 s_1$ ist. Auch sie werden vielfach mit übermäfsiger Schliessung zum

*) S. diese Buchbeispiele u. a. bei Moseley, Mech. Prinzipien, deutsch von Scheffler, Braunschweig 1845, Bd. I, S. 456.

Aufbau (§. 40) benutzt. Eine Anwendung zeigt Fig. 334 in einer Kurbelpresse, deren Pleuelstange mittelst der Zwiselschraube genau auf Länge eingestellt wird, um den in Arbeit zu nehmenden Werk-

Fig. 334

Kurbelpresse



stücken die gewünschte bestimmte Dicke zu geben. An der neuen Towerbrücke in London sind in den Hängeeisen mächtige Spannwirbel in Zwiselschraubenform, s. Fig. 335, angebracht; das Pris-

Fig. 335

Hängeeisen der Towerbrücke



menpaar wird hier durch die Undrehbarkeit der durch die Eisen verbundenen Brückentheile überflüssig gemacht, bezw. ersetzt.

$(S_2 P)\frac{b}{c} = (S_2 P)\frac{b}{a}$ ist dem Anschein nach nicht benutzt,

$(S_2 P)\frac{a}{b} = (S_2 P)\frac{a}{c}$ ebenfalls nicht.

Macht man in der Kette (S_3') die Steigung $s_2 = 0$, s. Fig. 336, so erhält man die Kette $(S_2 C)$, die, wie sich weiter unten (S. 398) zeigen wird, wichtig ist. Hier liefert sie zunächst wieder drei Mechanismen, wie die vorige Kette.

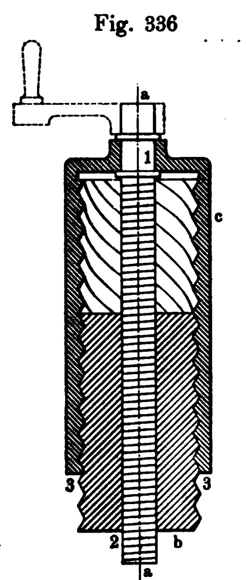
$(S_2 C)\frac{c}{a} = (S_2 C)\frac{c}{b}$ ist zwar nicht als selbständige Maschine, aber hier und da als Mechanismus in solchen benutzt, z. B. in der oben S. 380 nebenbei erwähnten Skinner'schen Steuermaschine. Man erhält aus Formel (35):

$$\left.\begin{aligned} x_3 &= n_1 s_3 \frac{s_1 - 0}{s_3 - 0} = n_1 s_1 \quad . \; . \; . \\ \frac{n_3}{n_1} &= \frac{s_1}{s_3} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \end{aligned}\right\} \; . \; . \; (36)$$

$(S_2 C)\frac{b}{a} = (S_2 C)\frac{b}{c}$ ist, wie es scheint, nicht benutzt,
$(S_2 C)\frac{a}{b} = (S_2 C)\frac{a}{c}$ ebenfalls nicht.

Gehen wir weiter in der Abwandlung der Schrauben in (S'_3), so kommen wir dazu, eine der Schrauben mit der Steigung ∞, und eine mit der Steigung 0 zu versehen; das gibt die Kette (SCP). Diese haben wir aber vorhin schon durch alle ihre wesentlichen Triebformen verfolgt, also erledigt.

Fig. 336



Die Abwandlungen (SP_2) und (SC_2) ergeben keine geschlossenen Ketten, wohl aber thut dies noch die letzte Möglichkeit: alle drei Schrauben mit unendlicher Steigung herzustellen, wofern man die entstehenden Prismenpaare in Winkeln zu einander stellt. Man erhält die Kette $(P_3^{\angle})$, die sogenannte Keilkette. Sie ist ausserordentlich häufig zum Aufbau, also in übermäfsiger Schliessung im Gebrauch, wie wir schon S. 262 besprochen haben. Die drei Formen von Getrieben $(P_3^{\angle})^a$, $(P_3^{\angle})^b$ und $(P_3^{\angle})^c$ sind untereinander gleich, ebenso die daraus zu bildenden Treibwerke, da die Glieder gleich sind. Die übliche Darstellung des Keiles, der einen Baumstamm spaltet, deshalb aber ganz unsicher zwischen den Druckflächen sitzt, hält das Verständniss auf. Geräthe und Mechanismen innerhalb von Maschinen liefert die Kette nur in mäfsiger Zahl. Das Zahnstangenkreuz, Fig. 337 (a. f. S.), wird hier und da an Arbeitsmaschinen benutzt. Je nachdem man seine Keilsteigungen wählt, siehe unter *a* und *b*, erzielt man bei derselben Bewegung des treibenden Gliedes ent-

gegengesetzte Fortschreitung des getriebenen; die Steigungen sind so zu wählen, dass die Reibung die Bewegung nicht verhindert.

Fig. 337 Zahnstangenkreuz

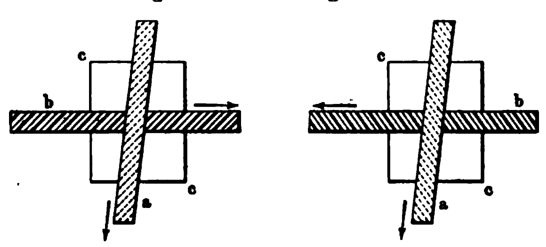
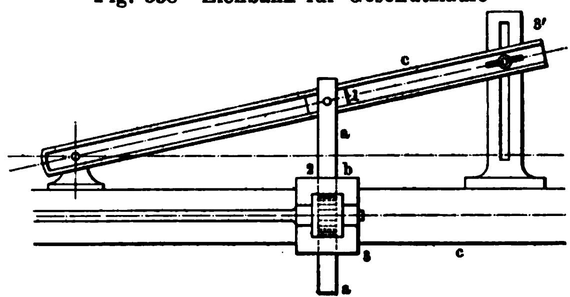


Fig. 338 zeigt $(P_3^{\angle})\frac{c}{b}$, angewandt als Dralltrieb für Kanonen- und Gewehrziehbänke. Es ist wichtig, die Formel anzuschreiben. Wir haben, entsprechend den Buchstaben der Figur:

$$\left.\begin{array}{ccccccccccccc} P^+ & \ldots & \angle & \ldots & P^{-}_{=}\,P^+ & \ldots & \perp & \ldots & P^{+}_{=}\,\underline{P^- & \ldots & \angle & \ldots & P^{-}_{=}} & \ldots \\ 1 & & a & & 2 & & b & & 3 & & c & & 1 & \ldots \end{array}\right\} (P_3^{\angle})\frac{c}{b}$$

Bank und Leitschiene bilden das Aufstellungsglied c, das bei 1 mit dem Querschieber a, bei 3 mit dem Schlitten b gepaart

Fig. 338 Ziehbank für Geschützläufe



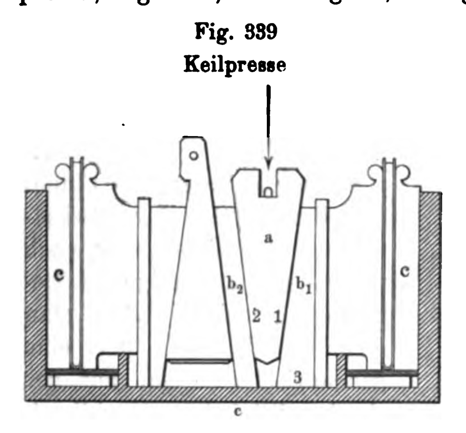
ist. Ersterer schiebt sich in b proportional dem Fortschreiten des Schlittens, dem durch eine Leitspindel Triebkraft zugeführt wird, und dreht demnach ebenso das im Schlitten gelagerte, den Bohrer tragende Zahnrädchen, in das er mit der Verzahnung seiner Unterseite eingreift. Die Bohrerschneiden beschreiben deshalb gemeine Schraubenlinien als Drallkurven*).

---

*) Bei neueren Laufziehbänken, vor allem denen für schweres Geschütz, bewegt man die Leitschiene an ihrem Punkte 3′ quer zur Bank noch proportional dem Fortschreiten von b; es entsteht dann der sog. parabolische Drall, der das Geschofs mit gleichförmiger Beschleunigung dreht. Eine hierfür geeignete Ziehbank von Craven brothers in Manchester s. Engineer vom 6. Mai 1898, S. 418.

Zur selbständigen Maschine ausgebildet ist $(P_3^{\angle})$ in der Keilpresse, Fig. 339, die übrigens, streng genommen, aus zwei Keiltrieben besteht. Der Trieb heisst $(P_3^{\angle})\frac{c}{a}$ oder $(P_3^{\angle})\frac{b}{a}$. Das Schlagen auf den Keil *a*, sei es mit einem Handschlägel, sei es mit Fallstempel, hat zu dem Namen Oelschlägerei Veranlassung gegeben; links wie rechts bei *c* wird das Pressgut zwischen Tüchern gepresst. Ein Schlag auf den Lösekeil hebt den Druck auf. In ländlichen Bezirken bei uns, namentlich aber in Südeuropa, auch Kleinasien und drüben auf den Sundainseln ist die alte Maschine noch im Gebrauch.

Fig. 339
Keilpresse



Hiermit sind die starrgliedrigen Triebe aus (S_3') erschöpft; es sind ihrer acht, nämlich:

25. $(S_3')\frac{a}{c}$ usw.	29. $(S_2C)\frac{c}{a} = (S_2C)\frac{c}{b}$.
26. $(S_2P)\frac{c}{a} = (S_2P)\frac{c}{b}$.	30. $(S_2C)\frac{b}{a} = (S_2C)\frac{b}{c}$.
27. $(S_2P)\frac{b}{c} = (S_2P)\frac{b}{a}$.	31. $(S_2C)\frac{a}{b} = (S_2C)\frac{a}{c}$.
28. $(S_2P)\frac{a}{b} = (S_2P)\frac{a}{c}$.	32. $(P_3^{\angle})\frac{a}{c}$ usw.

Sie sind theils benutzt, theils nicht benutzt. Noch aber ist es wiederum angängig, in die Kette ein Flud einzuführen, wie wir oben bei (CSP) gethan haben. Das gelingt nur gut bei (S_2C). Die Kette lautet dann, indem wir für (S) die höhere Schraube einführen:

$$\left.\begin{matrix} C^+ \ldots & | \ldots \tilde{S}, F & \ldots\ldots\ldots & F, \tilde{S} \ldots & | \ldots C \ldots \\ 1 \quad\; a & 2 & b & 3 & c \quad\; 1 \end{matrix}\right\} (\tilde{S}_2 F)$$

Stellt man auf *c*, so erhält man etwas Merkwürdiges, nämlich die Jonval'sche oder seitenschlächtige Turbine, Fig. 340 a (a. f. S.), wie schon im ersten Band kurz gezeigt wurde. *c* ist das Gehäuse mit Leitrad und Lager, *a* das Laufrad mit Achse, *b* das Wasser. Die Triebformel ist:

$$33. \quad (S_2F)\frac{c}{b}$$

Unter b in unsrer Figur ist die starrgliedrige Kette $(S_2 C)$ noch einmal besonders dargestellt. Die Zwiselschraube b in ihr ist in der Turbine durch Wasser ersetzt; dass sich letzteres in dem Leitrad, das eine Schraubenmutter ist, dreht, beachtet man gewöhnlich nicht. [Vergl. auch noch Fig. 336, S. 395.]

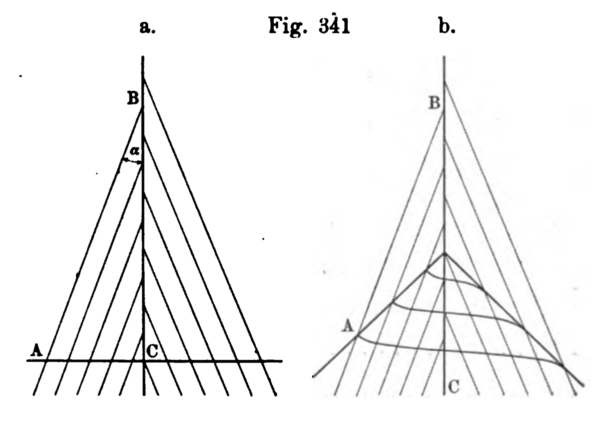
Fig. 340

Seitenschlächtige Turbine

a. b.

Die Einsetzung des Fludes an die Stelle der Zwiselschraube b leistet aber noch mehr, wie uns folgende Betrachtung zeigt. Lässt man eine Gerade AB um eine geometrische Achse, mit der sie den Winkel α einschliesst, Fig. 341 a, sich so bewegen, dass sie mit einem bestimmten ihrer Punkte der Achse BC nachgeht und sich gleichzeitig um sie dreht, so beschreiben alle ihre Punkte Schraubenlinien *). Dabei ist die Spur A der fortschreitenden Geraden auf einer zur Achse BC rechtwinkligen

a. Fig. 341 b.



Ebene eine Spirale, und zwar eine archimedische oder arithmetische **), wenn Drehung und Fortschreitung proportional sind, weil dann CA proportional dem Drehwinkel ist; die Spirale wird

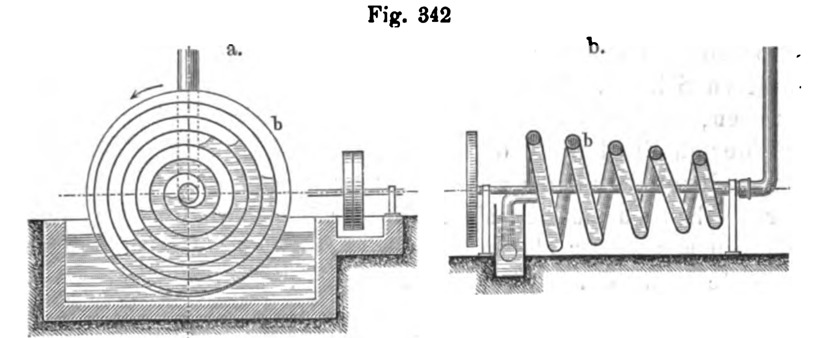
*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 196.

**) Vergl. oben im ersten Abschnitt S. 25.

dagegen eine höhere, wenn Drehung und Fortschreitung nicht proportional sind *). Die genannte Ebene kann man aber als Plankegel ansehen; demnach darf man die auf ihr beschriebene Spirale als Plan-Schraubenlinie betrachten. Der Plankegel ist ein besonderer Fall des Normalkegels, Fig. 341 b. Auch auf diesem ist die Spur A der wie vorhin bewegten Geraden eine Spirale.

Bedient man sich dieser Schraubenkurve in beiden Fällen, a und b, als Profils für eine gekrümmte Fläche, so erhält man zunächst die Grundformen der ebenen Spiralpumpe, Fig. 342 a, und der Kegelspiralpumpe oder konischen Cagniardelle, Fig. 342 b **),

Fig. 342



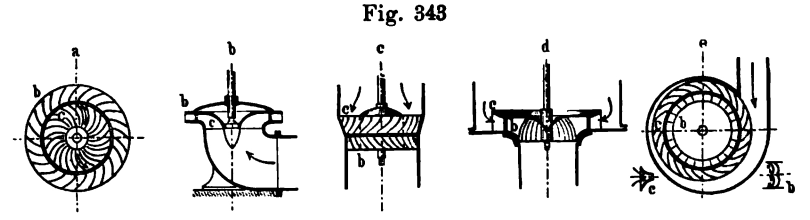
sodann aber auch die Schaufelformen, die bei den Leitradturbinen von Fourneyron und von Francis, der innen- und der aussenschlächtigen Leitradturbine angewandt sind. Demnach haben wir auch diese beiden Turbinengattungen als aus dem Trieb $(S_2 F)\frac{c}{b}$ hervorgehend anzusehen, sie zu den Schraubenturbinen zu zählen. Das „Leitrad" ist in allen drei Fällen, bei der seiten-, der innen- und der aussenschlächtigen Leitradturbine, die höhere Schraube, die dem Paar 3 am Aufstellungsglied c unsrer obigen Kette angehört. Fig. 343 (a. f. S.) führt fünf Ausführungsarten der in Rede stehenden Turbinengattung zusammengestellt vor. a und b innenschlächtige, c seitenschlächtige, d und e aussenschlächtige Leitradturbine. Bei den Formen b

*) Bemerkt sei, dass eine Parallele zur Geraden AB, die gegen die Achse BC rechtwinklig um eine unveränderliche Grösse geschränkt steht, als Fussspur auf dem Plankegel eine Kreisevolvente durchläuft; die archimedische Spirale ist aber nach S. 21 eine mittelsläufige (verlängerte) Kreisevolvente.

**) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 888.

(Nagel), d (Francis) und e (Schiele) sind besonders hohe Schraubenformen $\tilde{S}^{-}$ erforderlich, um beim Ein- und Auslauf das Wasser

Fig. 343



gut zu leiten; alle fünfmal aber stellt der treibende Wasserstrang die Zwiselschraube *b* aus der obigen Formel dar.

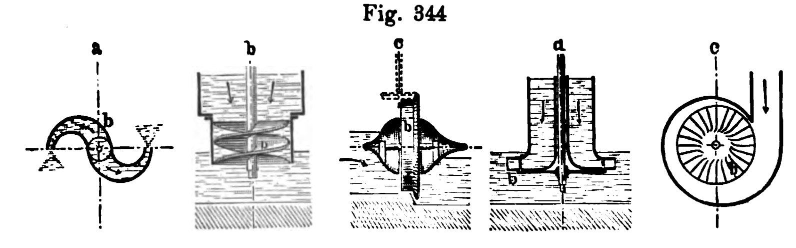
Die Gemeinsamkeit der kinematischen Grundlage der besprochenen drei so wichtigen Kraftmaschinen führt noch zu einem weiteren Schluss, nämlich zu demjenigen, dass auch die Kreiselpumpen, Schleuderpumpen, Windfachen, bei denen dem getriebenen Flud noch durch Leitschaufeln seine Richtung angewiesen wird, als aus der artenreichen Kettenformel $(S_2 F)$ hervorgehend anzusehen sind. In der That erhalten wir diese Pumpen aus unsrer obigen Formel, wenn wir die wie bisher auf *c* gestellte Kette durch das Glied *a* treiben:

$$34. \quad (S_2 F)\frac{c}{a}$$

Das Rad treibt dann das Flud, während vorhin das Umgekehrte geschah.

Es empfiehlt sich nunmehr, auch die übrigen einfacheren Turbinenarten, die leitradlosen Turbinen, in denen der Wasserstrang das Kettenglied $S \ldots \| \ldots P$, also eine einfache, nicht eine Zwiselschraube vorstellt, zusammen mit den Planschraubenrädern zu überblicken. Fig. 344 zeigt fünf Formen der sich so

Fig. 344



zusammenordnenden Turbinen, die nun, als einschraubig, keine Leitschaufeln haben. a und d innenschlächtig, b und c seitenschlächtig, e aussenschlächtig; a Segners, b Platarets, c Girards,

d Cadiats und e Thompsons Turbine. Bei der Girard'schen Stromturbine wird nur etwa die Hälfte der Radkanäle von dem treibenden Strom gefüllt und durchflossen. Deutlich hat man hier die Ersetzung des starren Gliedes $S^{-} \ldots \| \ldots P^{-}$ durch ein Flud vor sich, indem das Wasser gerade so wie die hälftige Schraubenmutter in dem Schraubkeil Fig. 311 wirkt; aber auch die Umkehrung der archimedischen Schraube liegt klar am Tage.

Aus dem Gefundenen folgt nun, indem wir uns erinnern, dass der Umkehrungssatz uns von der archimedischen Schraube zu den einschraubigen Turbinen in Fig. 336 und der Schiffsschraube geleitet hatte, dass wir nun auch die Kreiselpumpen für flüssige und luftige Flude als Planschraubenräder anzusehen haben, und sie aus denselben Hauptformeln $(\tilde{S}FC)$ und $(\tilde{S}_2F)$ ableiten können, je nachdem sie ein- oder zweischraubig sind.

Gemeinsam ist den Turbinen in den Figuren 342 und 343, dass bei ihnen die Kanäle gefüllt gehen, ob die Turbine voll beaufschlagt ist oder nicht (Girard). In allen wirkt das Triebwasser durch sog. Reaktion, weshalb man sie unter dem Namen Reaktionsturbinen zusammenfassen wollte. Ich nenne sie „Strahlturbinen" gegenüber den von Zeuner treffend als „Druckturbinen" bezeichneten Rädern, bei denen das Wasser nicht die Radkanäle füllt, sondern in dünner Schicht auf der einen Kanalwand hingleitet und vermöge der ihm aufgezwungenen Ablenkung auf die Schaufel drückt. Auf die Druckturbinen, zu denen auch das de Laval'sche Dampfrad gehört, haben wir später zurückzukommen.

Unsre nun beendete Untersuchung der Schraubentriebe hat, trotz allem meinem Streben nach Kürze, lang ausfallen müssen. Der Reichthum der Treibwerkformen, vierunddreissig an der Zahl, die in der schlichten kinematischen Formel (S_3') enthalten sind, d. h. sich als daraus entwickelbar im Vorstehenden erwiesen haben, ist, wie man wohl sagen darf, grossartig. Mechanismen, Geräthe, Hülfsvorrichtungen, Arbeitsmaschinen, Kraftmaschinen giengen aus den verschiedenen, theoretisch sich ordnenden Formen, die der Kette zukommen, in streng gesetzmäfsiger, und nach der ersten begrifflichen Anstrengung auch leicht verständlicher Folge hervor; die Maschinenpraxis zieht aus ihnen eine wunderbare Fülle von Nutzen für ihre Aufgaben. Manche der möglichen Formen von Trieben erwiesen sich als zur Zeit noch unbenutzt. Die kinematische Betrachtung ihrerseits fasst für den,

der in das Wesen der kinematischen Verkettung einzudringen die Mühe nicht gescheut hat, wichtige Erfindungen eng zusammen, die nach Entstehung und Entwicklung weit auseinanderliegen; sie führt dadurch zu einer Klärung des Urtheils, die auf andrem Wege nie erreicht werden kann.

Wir können beispielsweise nun genau angeben, was denn auf dem Wege des Denkvorganges geschah, als man aus dem Segner'schen Rad die Turbine entwickelte und als man die Triebschraube für Schiffe „erfand", die beide mit der archimedischen Schraube so nahe verwandt sind. Allen dreien liegt die Kette (SFC) zu Grunde. Bei Archimed stand sie auf c, und nahm die treibende Kraft durch das Glied a, Schraube mit Achse, auf, sodass der Trieb lautete $(SFC)\frac{c}{a}$. Bei der Turbine stand oder steht die Kette ebenfalls auf c, nimmt aber die Triebkraft durch die Flüssigkeit b auf, sodass die Triebformel lautet $(SFC)\frac{c}{b}$ *). Bei der Schiffsschraube steht die Kette auf dem Wasser, und nimmt durch die Schraube a die Triebkraft auf. Die Triebformeln der drei wichtigen, so viel gebrauchten Maschinen lauten:

Archimedische Schraube	Turbine (ohne Leitrad)	Schiffsschraube
$(SFC)\frac{c}{a}$,	$(SFC)\frac{c}{b}$.	$(SFC)\frac{b}{a}$.

Das ist die Unterscheidung, das ist die Erfindungsreihe. Die ältere Auffassung, die von den allgemeinen Gesetzen der Mechanik ausgieng, führte dazu, von Turbine und Schiffsschraube ausführlich Erfindungsgeschichte zu schreiben, und zwar mit ganz getrennten Anfangspunkten und -Ereignissen für jede der Maschinen. Das geschah mit besonderem Nachdruck und Eifer bezüglich der Schiffsschraube, die nach Johnson **) schon 1785 von Bramah in einem Patent beschrieben wurde, während man bei uns Ressel, der erst 1812 auftritt, dafür ein Denkmal gesetzt hat. Und doch handelte es sich bloss um die Feststellung eines andern Gliedes einer und derselben, schon bekannten kinematischen Kette:

$$\frac{b}{a} \text{ statt } \frac{c}{a}$$

*) Die Alten müssen doch öfter gemerkt haben, dass die archimedische Schraube rückwärts lief, wenn man plötzlich nachliess, an der Kurbel zu drehen.

**) Johnson, Imperial Cyclopaedia of Machinery, London (1862), Abschnitt Screw Propelling.

Wohl hatte man bemerkt, dass es sich um eine neue Verwendung einer bekannten Verbindung von Theilen handelte, was ja auch wirklich etwas Neues, Gutes, Bedeutendes war; aber man drang nicht mit Schärfe zu der Beurtheilung vor. Heute können wir das, was damals geschah, durch des Verfassers Umkehrungssatz ganz bestimmt, ganz klar ausdrücken, und da erscheint denn die Sache, an der man sich mit ehrlicher Mühe so schwer angestrengt hatte, recht einfach. Der Umkehrungssatz erweist sich dadurch nur um so fruchtbarer.

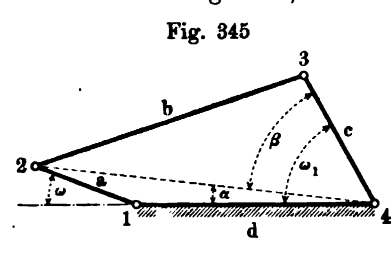
Zu sagen ist schliesslich, nachdem wir eine einzige kinematische Kette untersucht haben, die nicht gerade viel zu versprechen schien, die aber trotzdem eine ganz bedeutende Ausbeute unter unsrem Verfahren ergeben hat, dass das, was wir getrieben haben, kinematische Synthese, und zwar die im ersten Bande in §. 140 dargelegte „indirekte“ oder mittelbare Synthese gewesen ist.

§. 56

Kurbeltriebe

Kinematische Ketten aus Cylinderpaaren werden, wie sich bei den Gerad- und Parallelführungen so auffallend zeigte, ungemein häufig benutzt; nicht geringer als ihre Verwendung zum Leiten ist diejenige zum Treiben. Die hierfür entstandene Mannigfaltigkeit — für parallele sowohl, als winklige und als geschränkte Achsen — nöthigt uns, in den Beispielen hierzu uns Beschränkungen aufzulegen. Wir wollen deshalb in der Ebene, d. h. bei der Kette (C_4'') bleiben und auch nur die wichtigsten Fälle herausheben.

Fig. 345



Was hier zu untersuchen ist, das sind die Verschiebungs- und Schnellenverhältnisse, die aber sehr formenreich sind. Wenden wir uns zunächst zur Kurbel a und der Schwinge c in der Aufstellung von (C_4'') auf d, die Fig. 345 darstellt, so haben wir gemäfs den eingetragenen Bezeichnungen: $\sin\omega_1 = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$ und $e\sin\alpha = a\sin\omega$; sodann $c^2 + e^2 - 2ce\cos\beta = b^2$ und $a^2 + d^2 + 2ad\cos\omega = e^2$. Dies liefert vorerst:

$$\cos\alpha = \sqrt{1 - \frac{a^2}{e^2}\sin\omega^2} \quad \text{und} \quad \sin\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{c^2 + e^2 - b^2}{2ce}\right)^2},$$

woraus als vorbereitende Gleichung folgt: $\sin\omega_1 =$

$$\left.\begin{array}{l} \frac{a}{e}\sin\omega\,\frac{c^2+e^2-b^2}{2ce} \pm \sqrt{\left(1-\frac{a^2}{e^2}\sin\omega^2\right)\left[1-\left(\frac{c^2+e^2-b^2}{2ce}\right)^2\right]} \\ \text{worin} \qquad e = \sqrt{a^2+d^2+2ad\cos\omega} \quad \ldots\ldots \end{array}\right\} \quad (37)$$

Voraussetzung ist, dass die vier Längen a, b, c, d zur Viereckbildung geeignet sind. Es leuchtet ein, dass mit dieser verwickelten Formel für die praktische Benutzung der Kurbeltriebe wenig zu machen ist. Immerhin kann der durch sie angedeutete rechnerische Weg in gewissen Fällen mit Nutzen verfolgt werden. Dies ist z. B. für die Schubgesetze der wichtigsten Schleifbogensteuerungen durch Zeuner geschehen und in glücklicher geometrischer Schlussform zur praktischen Verwendung gebracht worden; doch geschah die werthvolle Untersuchung nicht allgemein, sondern beschränkte sich auf das genannte Feld und war in erster Linie für die Lokomotivmaschine bestimmt. Der Nutzen, den Zeuners „Schiebersteuerungen“ dem Dampfmaschinenbau gebracht haben, ist trotzdem ausserordentlich.

Ein zweiter Weg würde der sein, recht allgemein die Polbahnen der Kurbeltriebe aufzusuchen, um aus ihnen die Uebertragungsgesetze abzuleiten und in die besonderen Formen der Einzelfälle überzuführen. Aber auch hier stösst man bald auf beträchtliche Schwierigkeiten, wie schon die zwei Polbahnenpaare zur einfachen Schubkurbel S. 290 und 291 gezeigt haben.

Unter diesen Umständen empfiehlt es sich, die Aufgabe von den Einzelfällen aus anzugreifen, theils analytisch, theils phoronomisch, je nachdem es einfacher ausfällt. Es wird sich dabei zeigen, dass auf diesem Wege sich wichtige theoretische Fragen lösen lassen. Immerhin sind mit den „Einzelfällen“ nicht unmittelbar anzuwendende Mechanismen für diese oder jene Maschine gemeint, sondern soll nur gesagt sein, dass eine erschöpfende Untersuchung nicht beabsichtigt ist.

§. 57

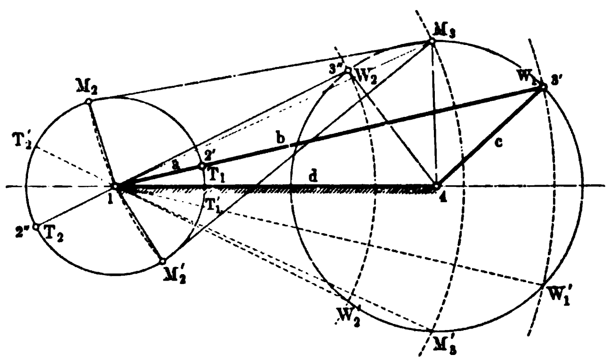
Die eigenthümlichen Punkte des Kurbeltriebs

Den Trieb $(C_4'')_{\overline{a}}^{d}$, den Fig. 345 andeutete, nenne ich (s. Bd. I, S. 283) die Bogenschubkurbel. Bei Drehung von a um die Achse 1,

Fig. 346, durchläuft der gemeinsame Endpunkt 3 von Koppel und Schwinge einen Kreisbogen vom Halbmesser c, der bei den gewählten Verhältnissen kleiner ist, als ein Halbkreis. Ver-

Fig. 346

Bogenschubkurbel



schiedene Punkte dieser Bahn entsprechen Eigenthümlichkeiten der Bewegung, die wir zunächst etwas ordnen wollen.

Die Endpunkte 3′ und 3″ der Bahn nenne ich deren Wendepunkte; die zugehörigen Punkte des Kurbelkreises heissen (seit Watt) Todpunkte. Die betreffenden Lagen des Triebes nenne ich todte Lagen oder kürzer Todtlagen*), weil in ihnen eine Rückwirkung aus c die Kurbelstellung nicht zu ändern vermag. Die Todtlage 1.2′3′ heisst aus verständlichem Grunde eine äussere, die Lage 1.2″3″ eine innere Todtlage. Dem entsprechend ist:

T_2 oder 2″ innerer Todpunkt, W_2 oder 3″ innerer Wendepunkt,
T_1 „ 2′ äusserer „ , W_1 „ 3′ äusserer „

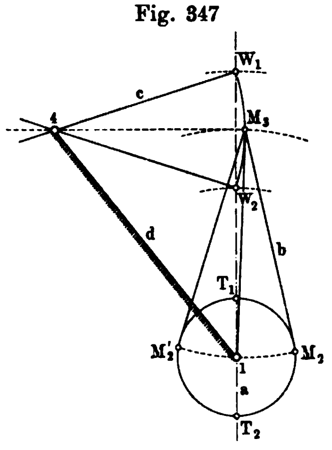
Man findet die äusseren Wende- und Todpunkte, wenn man mit der Summe von a und b, die inneren, wenn man mit dem Unterschied von b und a Kreise aus 1 beschreibt. Von den zwei jedesmaligen Einschnitten in den Kreis c gilt in unsrem Falle nur einer; auf Fälle, wo auch der andere gilt, werden wir zurückkommen.

Ein dritter eigenthümlicher Punkt auf der Bahn 3′3″ ist der Punkt M_3, der um die Koppellänge b von 1 absteht. Ich will

*) Nicht „Todlage“; das würde bedeuten Lage des Todes. Nach der neueren Schulschreibung hätte man „Todpunkt“ und „Totlage“ zu setzen.

ihn den Schubmittelpunkt nennen, da der Kreis $M_3 M_3'$ mitten zwischen den vorhin erwähnten beiden Kreisen liegt. Man findet die dem Schubmittelpunkt entsprechenden Kurbelstellungen, wenn man aus M_3 einen Kreis mit b beschreibt, der, den Voraussetzungen nach, durch den Punkt 1 geht.

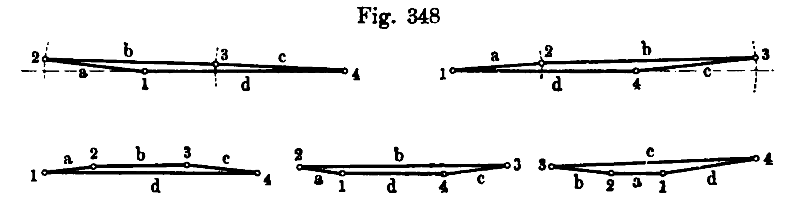
Fig. 347



Bei den Balanciermaschinen legt man, vergl. Fig. 347, die Tod- und Wendepunkte auf eine Gerade, damit jedem einfachen Kolbenspiel genau eine halbe Kurbeldrehung entspreche; aus dem Schubmittelpunkt M_3 sind dann diejenigen Kurbelstellungen $1 . M_2$ und $1 . M_2'$ durch Kreisschlagen zu ermitteln, die den halben Kolbenwegen entsprechen. Die Figur $M_2\, M_3\, M_2'\; 1\, .\, M_3$ nebst Kurbelkreis wird gern als Schema für den Kurbeltrieb auf Maschinenplänen benutzt.

Bei gewissen Längenverhältnissen kann es sich treffen, dass die beiden möglichen Wendepunkte W_1 und W_1' zusammenfallen, oder dass dies von den beiden möglichen inneren Wendepunkten W_2 und W_2' gilt, oder gar, dass beide besonderen Fälle zugleich eintreten. Die Kurbel kann in diesen Lagen keine Wirkung auf die Schwinge ausüben und umgekehrt; wir nennen deshalb solche Lagen wirkungslose, und sagen, die Kurbel stehe dann in einem wirkungslosen Punkt. Eine wirkungslose Lage kann in den fünf Formen eintreten, die folgende Figur versinnlicht; es sind die

Fig. 348



Grenzzustände der Vierecksbildung, und zwar diejenigen Fälle, in denen die Summe der Längen zweier benachbarten Glieder gleich der Summe der Längen der beiden übrigen Glieder ist, und diejenigen, in denen eine Gliedlänge gleich der Summe der drei anderen ist.

In den letzten drei Fällen,

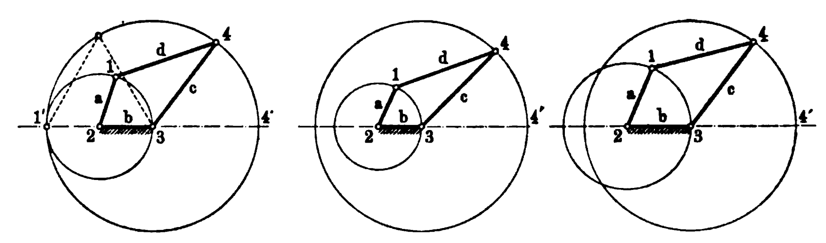
$$d = a + b + c,$$
$$b = a + d + c,$$
$$c = a + b + d,$$

ist der Trieb in besonderem Maſse wirkungslos, weil die Kette dann übermäſsig geschlossen ist (vergl. S. 166), obwohl sie viergliedrig ist, ein Fall, der bei Brückenträgern zu wichtigen Berechnungen führt *).

In den beiden ersten wirkungslosen Lagen, $b + c = a + d$ und $a + b = c + d$, kann noch eine bemerkenswerthe Besonderheit eintreten, diejenige nämlich, dass zwei benachbarte Glieder paarweis gleich gemacht sind, z. B. 1.2 = 2.3 und 3.4 = 4.1. Dies liefert die vom Verfasser als die „gleichschenklige“ bezeichnete Viercylinderkette (vergl. Bd. I, S. 291). Einen der beiden aus ihr herstellbaren Triebe stellt Fig. 349 in drei Formen

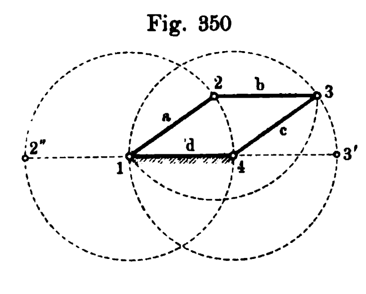
Fig. 349

Gleichschenklige Kurbeltriebe



dar. Wenn in diesem auf b stehenden Trieb 1 nach 3 fällt, so fällt 4 nach 4'. Dann aber ist der Trieb nicht bloss wirkungslos, sondern nimmt eine besondere kinematische Form an; man kann nämlich nun die zusammenfallenden Glieder c und d um die in eine zusammengefallenen Achsen 1 und 3 drehen, frei drehen, weshalb ich einen solchen Punkt einen freien Punkt nenne.

Fig. 350



Der Grenzfall dieses ungewöhnlichen Triebes wird erreicht, wenn alle vier Glieder gleich lang gemacht

*) Einschlägige wichtige Arbeiten lieferten Oberlehrer Ramisch, Buxtehude, und Professor Grübler, Berlin.

werden, s. Fig. 350, a. v. S. Es entsteht dann eine besondere „Parallelkurbel“ (S. 308), nämlich eine solche, die zwei freie Punkte, 4 und 1, besitzt.

Ausser den bis hierhin hervorgehobenen Punkten sind noch besonders wichtig diejenigen, bei denen in a und c gleiche Winkel- oder gleiche Umfangsschnellen eintreten, und sodann noch diejenigen, bei denen die Schnelle der Uebertragung einen Meistwerth oder einen Mindestwerth, Maximum oder Minimum, annimmt, abgesehen von jenen Mindestwerthen, die den Wendepunkten entsprechen. Für diese sämmtlichen Punkte bedarf es besonderer Untersuchungen in jedem Trieb; sie können nicht, wie die bisher besprochenen, mit einem einfachen Verfahren ermittelt werden.

Im Ganzen haben wir neun eigenthümliche Punkte im Kurbeltrieb als besonders bemerkenswerth erkannt, nämlich:

Todpunkte, meist paarweis vorkommend,
Wendepunkte, meist paarweis vorkommend,
Schubmittelpunkt,
Wirkungslose Punkte,
Freie Punkte,
Punkte gleicher Winkelschnelle } Gleichheitspunkte,
Punkte gleicher Umfangsschnelle }
Punkte grösster Schnelle,
Punkte kleinster Schnelle,

und wollen uns nun den, ihnen zukommenden besonderen Untersuchungen und Beispielen zuwenden.

§. 58

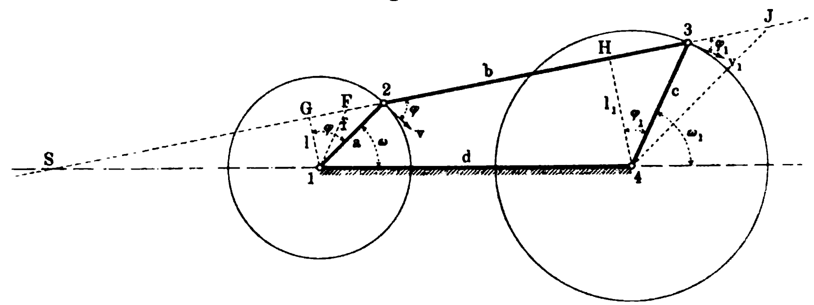
Winkel- und Umfangsschnelle im Kurbeltrieb

Fällt man in dem Kurbeltrieb $(C_4'')\frac{d}{a}$ aus 1 und 4 Lothe $1.G$ und $4.H$ auf die 2.3 oder deren Verlängerung, Fig. 351, so haben wegen der Kopplung 2.3 die Punkte G und H gleiche kleinste Bewegungen in der Richtung der Koppel, oder es ist, wenn die Punkte 2 und 3 die unendlich kleinen Wege ds und ds_1 auf den Kreisumfängen zurücklegen: $ds \cos\varphi = ds_1 \cos\varphi_1$, wenn die genannten Lothe die Winkel φ und φ_1 mit a und c einschliessen. ds ist $= a\,d\omega$ und $ds_1 = c\,d\omega_1$. Nun haben aber die erwähnten Lothe die Werthe $l = a\cos\varphi$ und $l_1 = c\cos\varphi_1$, so dass man hat:

$$\frac{d\,\omega_1}{d\,\omega} = \frac{a \cos \varphi}{c \cos \varphi_1} = \frac{l}{l_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

Die Winkelschnellen w_1 und w verhalten sich wie $d\,\omega : d\,\omega_1$. Ausserdem verhalten sich, wenn die verlängerte 3.2 die verlängerte 4.1 in S schneidet, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke

Fig. 351



die Lothe l und l_1 wie $1.S : 4.S$, auch wie $1.2 : 4.J$, wenn $4.J \parallel 1.2$ gezogen ist, auch wie $1.F : 4.3$, wofern $1.F \parallel 4.3$ gelegt ist, usw. Von allen diesen Streckenverhältnissen kann man, je nachdem sie sich leicht zur Verzeichnung bieten, Gebrauch machen, um w_1 und w zeichnerisch aufzusuchen. Sehr geeignet ist der Fahrstrahl $1.F$. Bezeichnen wir noch diesen Fahrstrahl mit f, so haben wir nun:

$$w_1 : w = f : c \quad \ldots\ldots\ldots \quad (39)$$

Nun gilt aber noch für die Umfangsschnellen v_1 und v der beiden Kreisbewegungen: $v_1 : v = c\,d\,\omega_1 : a\,d\,\omega$, d. i. wenn wir hierein das Verhältniss $w_1 : w$ aus (39) einsetzen:

$$v_1 : v = f : a \quad \ldots\ldots\ldots \quad (40)$$

Derselbe Fahrstrahl f dient uns hiernach zur Bestimmung des Verhältnisses sowohl der Winkel-, als der Umfangsschnellen der Arme a und c.

Um nun die ganze Reihe der Werthe von f überschaubar zu machen, klappen wir für eine ansehnliche Zahl von Kurbelstellungen den Fahrstrahl $1.F = f$ auf den Kurbelarm nach $1.F'$ und verbinden die Endpunkte F' mit einander durch eine Kurve, s. Fig. 352, a. f. S.; dann gibt diese Kurve die Schnellen oder „Fahrten“ (vergl. S. 29) des Schubpunktes 3 der Schwinge c an. Ich nenne deshalb die Kurve die Fahrtenkurve, Fahrtkurve oder Velozide des Kurbeltriebs. Sie gibt gleich-

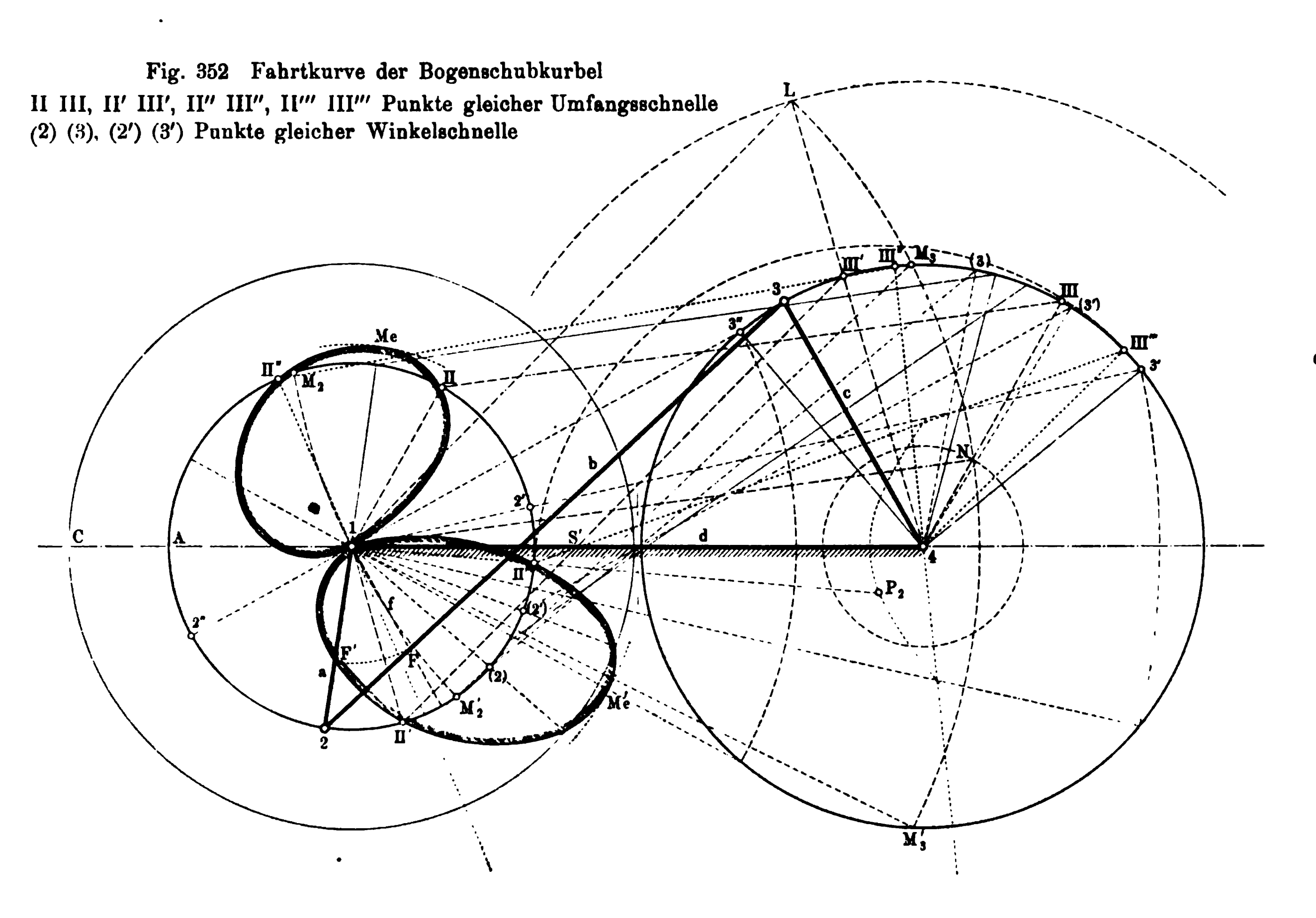


Fig. 352 Fahrtkurve der Bogenschubkurbel

II III, II′ III′, II″ III″, II‴ III‴ Punkte gleicher Umfangsschnelle

(2) (3), (2′) (3′) Punkte gleicher Winkelschnelle

zeitig Aufschluss über zwei Verhältnisse. Vergleicht man nämlich ihre Fahrstrahlen f mit der Länge der Schwinge c, d. i. den Halbmessern $1.C$ des um 1 mit c beschriebenen Kreises, so hat man das Verhältniss der Winkelschnellen von c und a vor sich; vergleicht man sie mit a, dem Kurbelkreishalbmesser $1.A$, so ergeben sie das Verhältniss der Umfangsschnellen von Schwinge und Kurbel. Die Fahrtkurve ist nicht schwer zu verzeichnen, indessen erfordert sie doch grosse Sorgfalt beim Abmessen*).

In den Todtlagen wird $f = 0$, weshalb die Fahrtkurve durch sie scheinbar in zwei geschlossene Kurven getheilt wird; diese sind aber nur zwei Aeste der Kurve. Da, wo diese den Kurbelkreis schneidet, liegen Punkte gleicher Umfangsschnelle, die gleich derjenigen von c ist; es sind die Punkte II, II′, II″, II‴, denen die Schubpunkte III, III′, III″, III‴ entsprechen. Zweimal fällt, gemäfs dem Verlauf des unteren Kurvenastes, die Winkelschnelle w_1 der Schwinge gleich aus derjenigen der Kurbel; es ist an den Stellen (2) und (2′) des Kurbelkreises und (3) und (3′) der Bogenbahn von 3. Die Meistwerthe oder Maxima der Winkel- und Umfangsschnellen liegen bei Me und Me'. Auffallend ist der Unterschied zwischen den Fahrtgrössen auf Hingang 3″3′ und Rückgang 3′3″. Der sogenannte schnelle Rückgang, den man bei manchen Hobel- und Stossmaschinen absichtlich stark ausbildet, zeigt sich hier deutlich schon als allgemeine Eigenschaft der Bogenschubkurbel; das mittlere Schnellenverhältniss zwischen Hin- und Rückgang wird durch den stumpfen und andrerseits ausspringenden Winkel 2′1.2″ ausgedrückt; es ist etwa 5:6. Mehrere Eigenschaften der Fahrtkurve sind aber noch eingehender zu besprechen.

§. 59

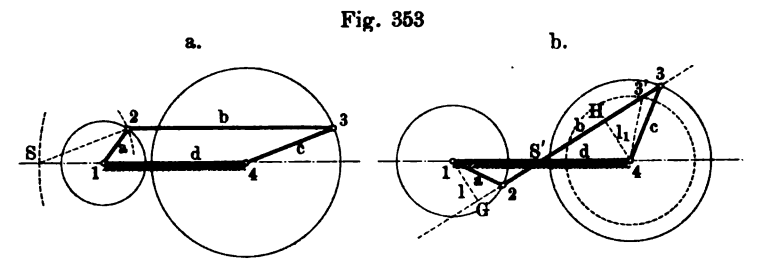
Aufsuchung der Gleichheitspunkte

Die Ermittlung der Gleichheitspunkte durch blosse Verzeichnung der ab- und zunehmenden Fahrstrahlen f ist für manche Zwecke nicht genau genug; es ist erwünscht, das ihnen zu Grunde liegende Gesetz zu kennen.

*) Das beschriebene zeichnerische Verfahren hat der Verfasser 1858 aufgestellt und von 1862 ab in seinen Vorlesungen vorgetragen; seine Zuhörer haben es in Ueberdruckheften zuerst 1868, dann ausführlicher 1870 („als Manuskript") für engere Kreise veröffentlicht.

Gleiche Winkelschnelle haben a und c, wenn die Lothe l und l_1, die aus 1 und 4 auf die Koppel gefällt werden, gleich sind; das kann auf zwei Weisen stattfinden, die Fig. 353 vor Augen führt. Die erste Weise, unter a, ist die, wobei $b \parallel d$ liegt.

Fig. 353



Mache auf der, wenn nöthig, verlängerten 4.1 die $4.S = b$, sodann $1.2 = a$ und $2.S = c$, so ist 2 die Kurbelstellung, in der 2.3 zu d parallel wird. Die zweite Weise, siehe unter b, ist die, wobei die Koppel den Steg zwischen 1 und 4, und zwar in der Mitte, schneidet, sodass $S'1 = S'4$, worauf ja die Lothe $1.G$ und $4.H$ gleich ausfallen. Die Aufsuchung dieser Lage des Triebes bei gegebenen Längen a, b, c, d ist keineswegs einfach, wie schon daraus zu erkennen ist, dass bei demselben Schnitt S' auch für andere Längen von Koppel und Schwinge die Lothe gleich den jetzigen bleiben können. Will man die Lage aufsuchen, so kann man sich folgender Annäherung bedienen. Trage die Länge $2.3 = b$ auf die Kante eines möglichst genau gearbeiteten, geraden Lineals auf und schiebe diese Kante so lange durch den Mittelpunkt S' des Steges 1.4, bis die Punkte 2 und 3 gleichzeitig auf den Kreisen a und c liegen.

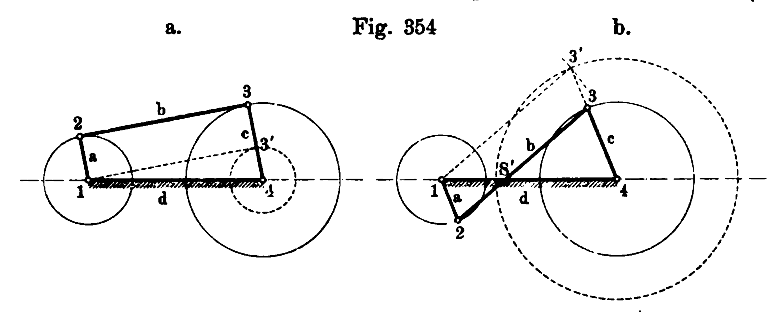
In unsrem Beispiel ist die parallele Lage aus Fig. 353a nicht zu erzielen, da ein aus S mit c beschriebener Kreis den Kurbelkreis gar nicht schneidet. Demnach müssen die in der Fig. 352 erscheinenden zwei Punkte gleicher Winkelschnelle beide der gekreuzten Lage Fig. 353b entsprechen. In der That ist das der Fall, wie die Koppellinien (2) (3) und (2') (3') zeigen, indem sie einander mitten auf 1.4 schneiden.

Gleiche Umfangsschnelle haben a und c zunächst, wenn der Fahrstrahl f aus Fig. 351 in a fällt, d. h. wenn a und c parallel sind. Fig. 354 stellt die beiden möglichen Fälle dar. Beschreibe aus 4 einen Kreis a) mit dem Unterschied von c und a, b) mit der Summe dieser Grössen, und schneide aus 1 mit

der Koppellänge $2.3 = 1.3'$ ein, so ist $4.3'$ die gesuchte Richtung von c, bei der die Schwinge parallel zur Kurbel fällt.

In unsrem Beispiel Fig. 352 kommen beide Fälle zur Geltung. N und L sind die Einschnittspunkte in die mit $c \mp a$

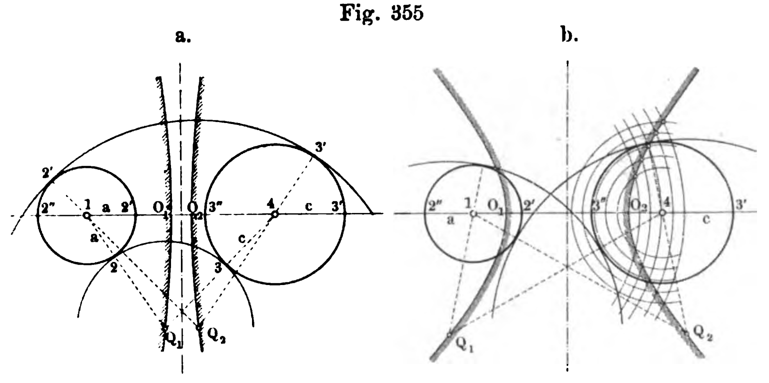
Fig. 354



beschriebenen Kreise aus 4, II III und II′ III′ die beiden Lagen der Koppel, bei denen a und c parallel fallen.

Nun zeigt unser Beispiel noch zwei andere Punkte gleicher Umfangsschnelle, nämlich II″ und II‴, denen die Koppelpunkte III″ und III‴ entsprechen. Bei näherem Zusehen erkennen wir, dass nicht bloss diese zwei, sondern ganze vier Gleichheits-Möglichkeiten vorliegen. Da nämlich die Koppel an beiden Kreisen a und c augenblicklich gleiche kleinste Wege zurücklegt, muss sie einem dritten Kreise angehören, der die beiden ersten berührt. Diese Drei-Kreis-Berührung kann in vier Weisen stattfinden, die Fig. 355 angibt: a) mit äusserer und äusserer, oder mit innerer

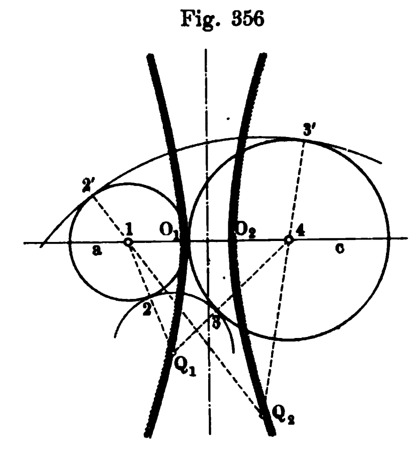
Fig. 355



und innerer Berührung der beiden Kreise durch den dritten, b) mit innerer und äusserer, oder mit äusserer und innerer Berührung der gegebenen Kreise durch den neuen.

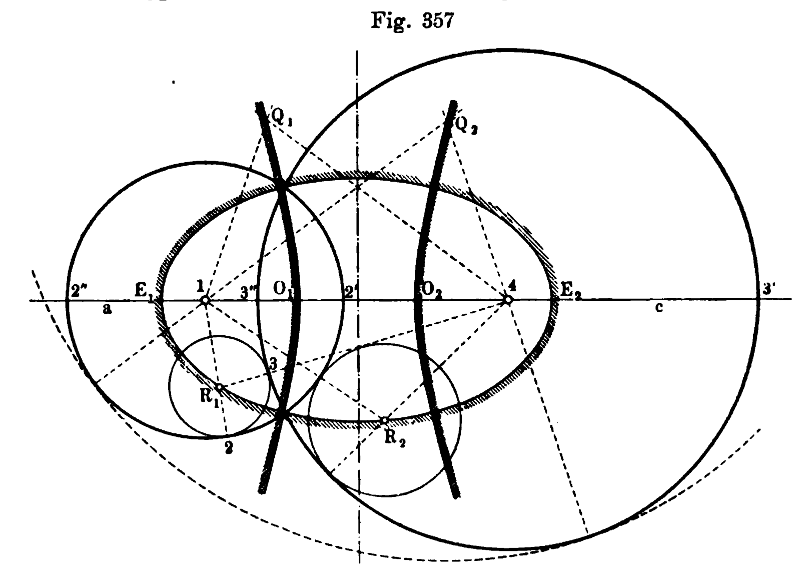
Der Punkt O_1, aus dem der kleinste, die gegebenen Kreise mit seiner Aussenseite berührende Kreis beschrieben wird, liegt mitten zwischen 2′ und 3″. Irgend ein anderer Punkt Q_1, aus dem ein Kreis mit $Q_1 2 = Q_1 3$ zu beschreiben ist, der die gegebenen berührt, ist von 4 entfernt um $c + Q_1 3$, von 1 um $a + Q_1 3$; diese Entfernungen sind verschieden um $c - a$, eine feste Grösse; demnach liegt Q_1 auf einem durch O_1 gehenden Hyperbelast. Aehnlich liegt der Mittelpunkt des kleinsten Hohlkreises, der die gegebenen Kreise berührt, mitten zwischen 2″ und 3′ in O_2. Ein anderer Punkt Q_2, aus dem ein Hohlkreis, der die gegebenen Kreise berührt, zu beschreiben ist, steht von den Berührungspunkten 2′ und 3′ um Strecken ab, deren Unterschied abermals $= c - a$, somit ist $O_2 Q_2$ der zweite Ast der soeben gefundenen Hyperbel. Die Achse derselben fällt mitten zwischen 4 und 1, und diese Punkte sind die Brennpunkte der Hyperbel.

Fig. 356



Ganz ähnlich erhalten wir in den beiden Fällen unter b als geometrische Oerter der Mittelpunkte für die berührenden Kreise die Aeste einer Hyperbel. Sie hat die Brennpunkte mit der vorhin gefundenen gemein, aber eine andere Achsenlänge, indem nämlich die beiden Scheitel O_1 und O_2 mitten zwischen 2″ und 3″, bezw. 3′ und 2′ fallen. Rechts ist die Verzeichnung einer der Hyperbeläste durch leicht aufzutragende Hülfskreise angegeben.

Fig. 357



Werden die gegebenen Kreise gleich gross, so ziehen sich die beiden Hyperbeläste unter Fig. 355 a auf eine Gerade, die Nebenachse, zusammen.

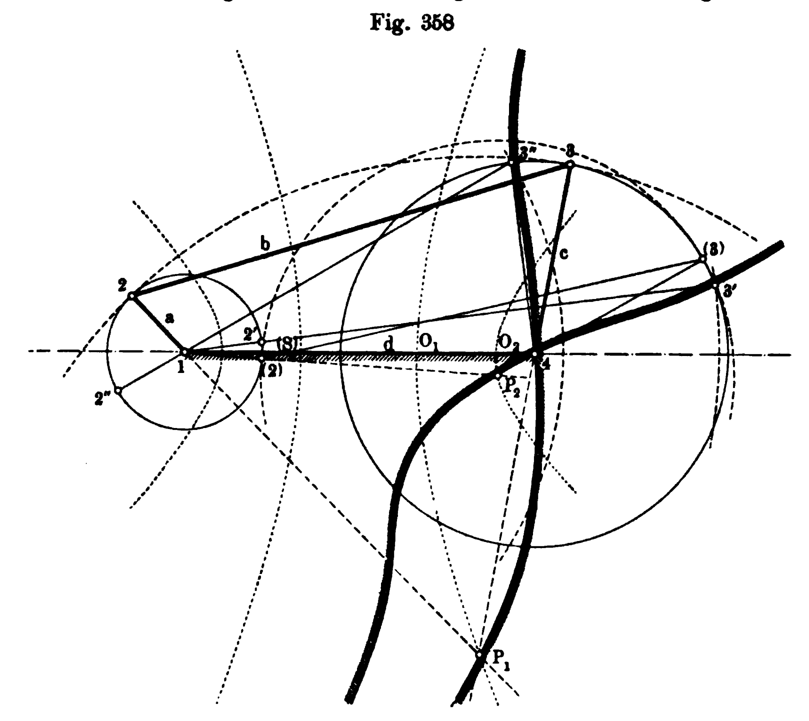
Wenn die gegebenen Kreise einander berühren, Fig. 356, so zieht sich die Hyperbel unter b, aus Fig. 355, auf die Hauptachse, d. i. die Zentrale 4.1 und deren Verlängerungen, zusammen.

Wenn endlich die gegebenen Kreise einander schneiden, Fig. 357, so geht die Hyperbel unter b in eine Ellipse über, deren Brennpunkte die Kreismittelpunkte 1 und 4 sind. Denn nun steht z. B. der Mittelpunkt R_1 eines der äusserlich und innerlich berührenden Kreise von 1 um $a - 2 . R_1$, von 4 um $c + 2 . R_1$ ab, die Summe der Fahrstrahlen zu R_1 ist demnach gleich der festen Grösse $a + c$.

Gemeinsam ist den sämmtlichen betrachteten Mittelpunktsörtern, dass ihre Punkte von den zu berührenden Kreisen stets gleichweit abstehen. Ins Auge fallend ist diese Gleichfernigkeit namentlich bei der letzten Figur.

Wollen wir nun die vorstehenden Ermittlungen auf die Bogenschubkurbel $(C_4'')_a^d$ anwenden, so haben wir zu bedenken, dass die auf den gefundenen Kegelschnitten liegenden

Fig. 358



Mittelpunkte der berührenden Kreise zugleich Punkte der Polbahn zum Stege d sein müssen. Demnach muss man, um die Bestimmung der Punkte gleicher Umfangsschnelle

vollenden zu können, diese letztere Polbahn verzeichnen; ihre Schnitte mit den Mittelpunktsörtern ergeben dann die gesuchten Lagen des Triebs. In Fig. 358, a. v. S., ist diese zweifache Verzeichnung durchgeführt. Die zweiästige Polbahn des Steges d ist aufgetragen, und dasselbe ist mit den (hier hyperbolischen) Mittelpunktsörtern geschehen. Ihre Schnittpunkte P_1 und P_2 sind nach dem Vorausgeschickten sowohl Pole für die Bewegung der Koppel, als auch Mittelpunkte für die Kreisberührung. P_1 ist der Mittelpunkt für den Hohlkreis 2.3 und P_2 derjenige für die äussere und zugleich innere Berührung in (2) und (3). Werfen wir einen Blick zurück auf Fig. 352, so sehen wir, dass auch dort der Hyperbelast $P_2\,O_2$ aufgetragen worden war.

Die vorstehenden Untersuchungen lösen die gestellte Aufgabe. Sie sind aber weniger dazu bestimmt, die öfteren Anwendungen des dargestellten zeichnerischen Verfahrens anzuempfehlen, als dem Entwerfer von Kurbeltrieben über die Schwierigkeiten der Aufgabe vollen Aufschluss zu verschaffen; sie sollen ihm somit thatsächlich Zeit- und Müheaufwand ersparen; immerhin kommen dem Praktiker Fälle unter die Hände, in denen ihm die Aufsuchungsweise Dienste leistet. Bei der zuletzt behandelten Aufsuchung kann man mit dem oben bei Fig. 353 angegebenen Annäherungsverfahren für viele Zwecke ausreichen.

Wesentlich leichter, als bei der Bogenschubkurbel, gestalten sich die Dinge bei dem folgenden wichtigen Trieb.

§. 60

Die Geradschubkurbel

Der Trieb $(C_3'' P^{\perp})_a^d$, der aus dem vorigen entsteht, wenn $c = d = \infty$ gesetzt wird, ist (s. Bd. I) von mir die rotirende oder umlaufende Schubkurbel genannt worden; wenn man ihn noch genauer von der Bogenschubkurbel unterscheiden will, kann man ihn rotirende Geradschubkurbel nennen. In Fig. 359 ist sie mit zwei Fahrtkurven dargestellt. Die zur Linken gelegene entspricht genau derjenigen in Fig. 352. Ihre Verzeichnung wird sehr dadurch erleichtert, dass die Parallele zu dem unendlich gross gewordenen Glied c stets senkrecht auf der geraden Schublinie 1.3... steht; demnach werden nun die Fahrstrahlen f sämmtlich durch Einschneiden der Koppellinie in die Senkrechte 1.(2)...

gefunden. Für die Stellung 1.2′ ist die Hinüberklappung von f auf den Kurbelarm eingetragen, desgleichen die für den Meistwerth Me.

Es sind zwei Todpunkte, 2′ und 2″, und zwei Wendepunkte, 3′ und 3″, vorhanden; der Schubmittelpunkt M_3, um b von 1 abstehend, ist eingetragen. Bemerkenswerth sind die vier Punkte gleicher Schnelle (die Winkelschnelle des Koppelendes 3 fällt, als unendlich klein, ausser Betracht). Zwei derselben, (2) und (2′) an der Kurbel, fallen nothwendig auf die Senkrechte in 1, also auf zwei Kardinalpunkte des Kurbelkreises; die Lage der beiden andern, II und II′ an der Kurbel, III am Koppelende,

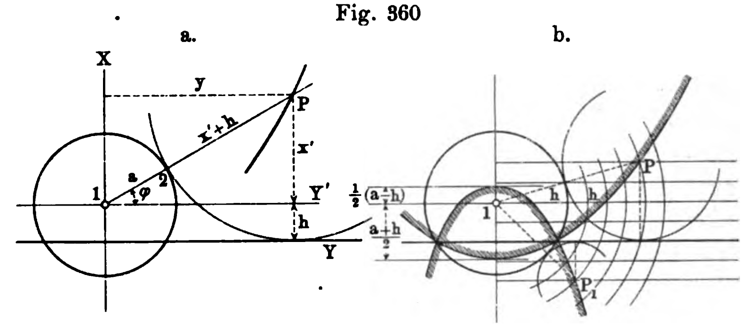
Fig. 359
Fahrtkurven der umlaufenden (rotirenden) Geradschubkurbel

ist nicht ohne weiteres abzugreifen. Hier ist eine der obigen verwandte Untersuchung anzustellen, die wir nicht unterlassen wollen.

Steht die Koppel in diesen Gleichheitspunkten, so handelt es sich um Berührung des Kurbelkreises und der geraden Schublinie 1.3... durch einen Kreis, in dem b eine Sehne ist. Der geometrische Ort des Mittelpunktes P dieses Kreises ist eine Parabel, wie Folgendes zeigt.

Indem wir die Untersuchung sogleich für die um eine Grösse h geschränkte Schubkurbel ausführen, haben wir gemäfs den in Fig. 360 an-

Fig. 360



gegebenen Bezeichnungen: $y\,tg\,\varphi = x'$ und $(a + x' + h)\cos\varphi = y$, woraus $y = (a + x' + h) : \sqrt{\left(1 + \frac{x'^2}{y^2}\right)}$. Hieraus ergibt sich nach einer kleinen Entwicklung:

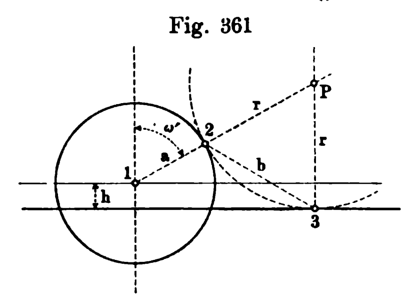
$$y^2 = (a + h)^2 + 2(a + h)x'.$$

Für $y = 0$, also denjenigen Kurvenpunkt, der in die Ordinatenachse fällt, ergibt dies $x' = -\frac{a+h}{2}$. Wir verlegen deshalb um diesen Werth den Abszissenanfang und erhalten dadurch für die neue Abszisse: $x = x' + \frac{a+h}{2}$. Den hieraus entnehmbaren Werth von x' einführend, erhalten wir bald, indem wir die Schränkung h auch negativ wählen können:

$$y^2 = 2(a \pm h)x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (41)$$

entsprechend einer Parabel, deren Scheitel von der Achse $1 . Y'$ abliegt: bei positivem h um $^1/_2(a + h)$, bei negativem um $^1/_2(a - h)$, also je einer Parabel für die beiden Fälle. Die Ordinate auf der Achse $1 . Y'$ beträgt, da dort $x = {}^1/_2(a \pm h)$ ist, $a \pm h$, vergl. Fig. b. Auf der Schublinie hat die Ordinate bei positivem, wie bei negativem h denselben Werth $\sqrt{a^2 + h^2}$, d. h. die Parabeln schneiden einander dort auf dem Umfang des Kreises a. Zur Rechten in Fig. b ist die leicht ausführbare Auffindung der Parabelpunkte durch Kreisschläge und Parallelen zur Schubrichtung angedeutet. Für $h = 0$, wie in unsrem Beispiel, ist der Scheitelabstand der Parabel von der Schublinie $= a/_2$ und die Ordinate auf derselben Linie $= a$; die durch den so bestimmten Scheitel und durch den Punkt 2' gehende Parabel ist eingetragen. Noch ist aber der Schubpunkt III nicht bekannt, auf dessen Loth der zu benutzende

Fig. 361



Parabelpunkt P liegt. Hier können wir aber, statt der mühsamen Verzeichnung aus Fig. 358, eine Berechnung anwenden. Bezeichnen wir, s. Fig. 361,

den Abstand 2 . P noch mit r, und den Winkel, um den die Kurbel aus der senkrechten Stellung herausgetreten ist, mit ω', so haben wir die zwei Gleichungen:

$$(a + r) \cos \omega' + h = r \quad \text{und} \quad r \sin \frac{\omega'}{2} = \frac{b}{2}.$$

Dies gibt: $a \cos \omega' + h = b\,(1 - \cos \omega') : 2 \sin \frac{\omega'}{2}$, und daraus nach einiger Umgestaltung:

$$\sin \frac{\omega'}{2} = -\frac{b}{4a} \pm \sqrt{\frac{b^2}{16a^2} + \frac{1}{2}\left(1 + \frac{h}{a}\right)} \quad \ldots \quad (42)$$

In unsrem Beispiel von Fig. 359 ist $b : a = 2{,}1$ (in Zahlen vielleicht Kurbelarm 1000, Koppellänge 2100 mm); ausserdem $h = 0$, womit kommt, bei Anwendung des $+$-Zeichens:

$$\sin \frac{\omega'}{2} = -\frac{2{,}1}{4} + \sqrt{\frac{4{,}41}{16} + \frac{1}{2}} = 0{,}35568 = \sin 20^\circ\, 54',$$

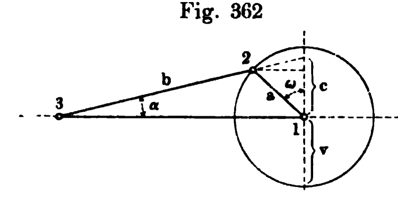
wonach $\omega' = 41^\circ\, 18'$, woraus sich nun auch leicht der Abstand 1 . III als $a \operatorname{cotg} \frac{\omega'}{2} = a \operatorname{cotg} 20^\circ\, 54'$ ermitteln lässt. Die durch die Fahrtkurve angegebenen Schnellen sind als Ordinaten einer zweiten Fahrtkurve zur Rechten unsrer Figur nochmals aufgetragen; den Schubpunkten III und (3) entsprechend. Der Kreis c_m bedeutet die mittlere Schnelle, mit der der Weg 3'' 3' zurückgelegt wird, wenn v nach wie vor durch a ausgedrückt wird. $c_m : v$ ist $= 2a : \pi a$ oder $= 2/\pi$.

Unsre vorstehende Untersuchung gilt auch für den Fall, dass die Gerade ausserhalb des Kreises liegt, der Werth h also $> a$ ist. Die obige Bemerkung über die Mittelpunktsörter, S. 415, gilt auch für die vorliegende Aufgabe: Die Aequidistante oder Gleichfernige zwischen einer gegebenen Geraden und einem gegebenen Kreisumfang ist eine Parabel.

Eine nicht unwichtige und häufig zu verwerthende Bestimmung ist nun die des Winkels, bei dem die Schubschnelle ein Meistwerth, ein Maximum wird. Für die praktischen Zwecke im Dampfmaschinenbau nimmt man häufig an, dass der Meistwerth da eintrete, wo Kurbel und Koppel einen rechten Winkel einschliessen; diese Stellung ist bei 1.2.3 in Fig. 359 eingetragen. Thatsächlich aber liegt der Meistwerth bei einem etwas kleineren Ausschlag der Kurbel.

Man hat, den Winkel zwischen Koppel und Schubrichtung, Fig. 362, mit α bezeichnend, für die Schubschnelle: $c : v = (a \cos \omega + a \sin \omega \operatorname{tg} \alpha) : a = \cos \omega + \sin \omega \operatorname{tg} \alpha$. Diesen Werth differenzirend und den Differentialquotienten Null setzend, erhält man: $0 = -\sin \omega + \cos \omega \operatorname{tg} \alpha + (\sin \omega : \cos \alpha^2)(d\alpha : d\omega)$. Für letzteren Quotienten folgt aus $b \sin \alpha = a \cos \omega$ der Werth $d\alpha : d\omega = -\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \omega$. Nach dessen Einsetzung und einiger

Fig. 362



Umformung folgt für den Winkel w, bei dem $c : v$ einen Meistwerth annimmt:

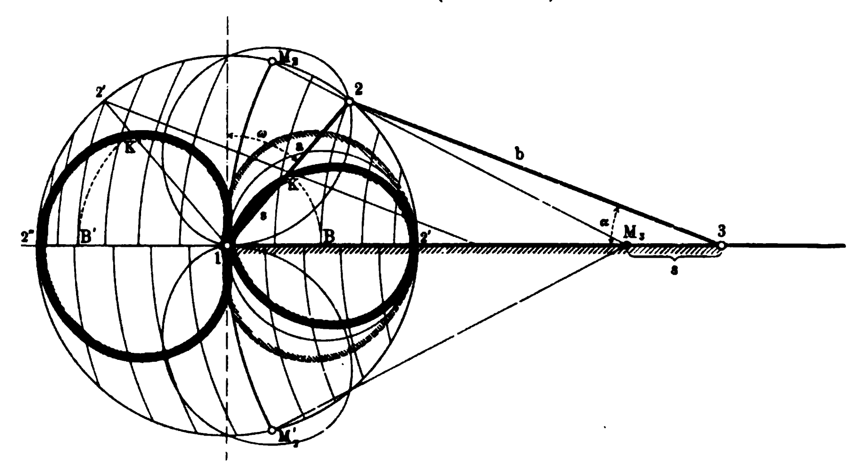
$$cotg\,\omega = \frac{cotg\,\alpha}{2} \pm \sqrt{\frac{cotg\,\alpha^2}{4} + \frac{1}{cos\,\alpha^2}} \quad \ldots\ldots \quad (43)$$

Bei den Verhältnissen unsrer Fig. 359 ist der um die fragliche Stelle herum wenig veränderliche Winkel $\alpha = arc\ sin\ 0{,}43 \sim 25^0\,30'$, $cotg\ \alpha = 2{,}0965$, $cos\,\alpha = 0{,}903$, $1 : cos\,\alpha^2 = 1{,}23$, womit kommt: $cotg\,\omega = 1{,}048 \pm \sqrt{1{,}098 + 1{,}23} = 1{,}048 + 1{,}526 = 2{,}574 = cotg\,21^0\,13^1/_2{}'$ statt $25^1/_2{}^0$, wie die erwähnte Annäherung voraussetzt. Damit ergibt sich die grösste Schnelle $c' = 1{,}1045\,v$, was mit der Zeichnung auch stimmt. Die Kurbelstellung der grössten Schnelle ist die in Fig. 359 stark ausgezogene.

Um die Schubkurbelgesetze ausreichend darstellen zu können, sind nun noch die Verschiebungen des Punktes 3 auf der Schublinie etwas näher zu betrachten. Es empfiehlt sich, auch sie, ähnlich den Fahrstrahlen f der Bewegungsschnelle, auf den Kurbelarm jedesmal aufzutragen. Das ist in Fig. 363 ge-

Fig. 363

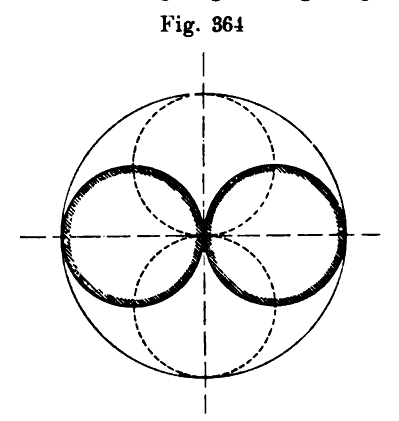
Schubkurve der umlaufenden (rotirenden) Geradschubkurbel



schehen. Der Abstand $1.K = s$ ist der Weg, den das Koppelende 3 vom Schubmittelpunkt M_3 aus zurückgelegt hat, während die Kurbel von M_2 nach 2 gieng. Dieser Weg ist $1.3 - 1.M_3$, d. i. $a\,sin\,\omega + b\,cos\,\alpha - b = a\,sin\,\omega + b\,(1 - cos\,\alpha)$. Zeichnerisch ist er ungemein leicht aufzutragen, da man dafür nur die Koppel aus der Stellung 3.2 nach $3.B$ niederzuklappen und dann die Strecke $1.B$ nach $1.K$ hinaufzuklappen hat. Bei $\omega = 90^0$ ist $s = a$, bei Erreichung der Stellung M'_2 ist $s = 0$. Geht man weiter, so wird s negativ, wäre also streng genommen auf der

Rückwärtsverlängerung von a aufzutragen; praktisch ist es aber, auch nun s wieder positiv auf den Kurbelarm zu tragen, da sich dann die beiden Theile der Kurve deutlicher als zu verschiedenen Theilen des Kurbelkreises gehörig erkennen lassen. So entsteht denn der links gelegene Theil der Kurve, der bei der strengen Auffassung in die punktirt angedeutete Lage kommen würde. Bei $B'K'$ ist eine der Punktaufsuchungen eingetragen. Ich nenne die gefundene Kurve die Schubkurve der rotirenden (Gerad-) Schubkurbel. Ihre Verzeichnung kann bei gleichen Winkelstufen von M_2 nach rechts und links, wie in der oberen Hälfte unsrer Figur, oder auch bei gleichen Stufen des Schubes vorgenommen werden, wie in der unteren Hälfte der Zeichnung geschehen ist. Nimmt man nun noch die Fahrtkurve hinzu — sie ist fein gezogen eingetragen —, so hat man eine vollständige Darstellung des Schubverlaufes nach Weg und Schnelle vor sich.

Fig. 364



Das Verhältniss von b zu a wirkt auf die Form der Schubkurve stark ein; je grösser $b:a$ wird, um so ähnlicher werden die beiden Kurvenäste. Wird b unendlich gross (vergl. die Kreuzschleife S. 278), so werden die beiden Kurvenäste gleich, und zwar gehen sie in Kreise über; dasselbe geschieht dann auch mit den Fahrtkurven, sodass die vereinigten beiden Darstellungen, Schubkurve und Fahrtkurve, wie in Fig. 364 wiedergegeben, zusammentreten. Denn wir haben nach dem Vorausgegangenen für die Polargleichung:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{der Schubkurve:} & s = a \sin w + b(1 - \cos \alpha), \\ \text{der Fahrtkurve:} & f = a(\cos w + \sin w \operatorname{tg} \alpha). \end{array}\right\} \quad (44)$$

Wird in beiden $\alpha =$ Null, so bleiben die Scheitelgleichungen von zwei Kreispaaren mit rechtwinklig zu einander stehenden Durchmessern a übrig. Den Kreis, in den die Schubkurve bei unendlich langer Koppel übergeht, nannte Zeuner in seinen trefflichen Untersuchungen über die „Schiebersteuerungen" den Schieberkreis. Die Annäherung der wahren Schubkurve durch diesen Kreis ist manchmal kaum zulässig. Sie genügte auch

Zeuner nicht. Er fügte deshalb später eine besondere Untersuchung an, in der er das von ihm sogenannte Fehlerglied in Betracht zog und abermals zeichnerisch darstellte. Dieses „Fehlerglied“ in seiner ganzen Genauigkeit ist der Unterschied zwischen den Fahrstrahlen des Kreises vom Durchmesser a und der beiden Schubkurvenäste; in Fig. 363 ist rechts der sogenannte Schieberkreis zwischen die vereinigten Schubkurvenäste eingetragen*).

Der Verfasser hat in seinem Konstrukteur, IV. Aufl., S. 946, gezeigt, wie man mittelst des durch die Koppelbogen getheilten Kreises bei den einfachen Schiebersteuerungen wichtige Ermittlungen in noch anderer, recht einfacher Weise ausführen kann.

§. 61

Die schwingende Kurbelschleife

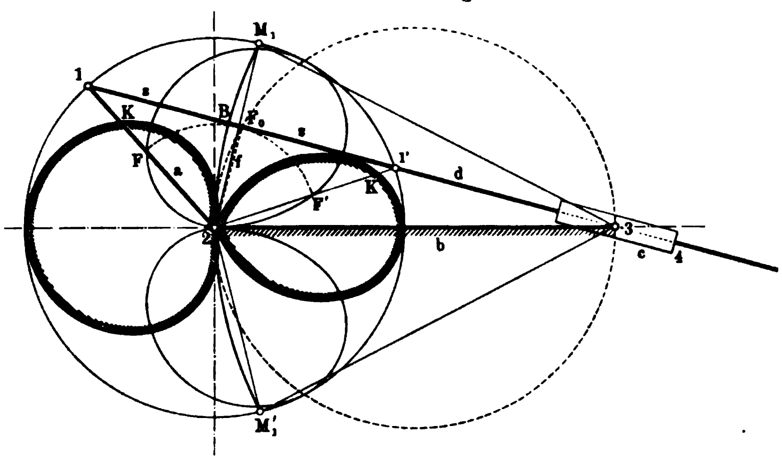
Stellt man die Kette $(C_3'' P^{\perp})$ auf b und betreibt sie durch a, so entsteht die sogen. oscillirende oder schwingende Kurbelschleife (vergl. Bd. I, S. 295). Dieser Trieb $(C_3'' P^{\perp})_{\overline{a}}^{b}$ ist zu mancherlei Zwecken im Gebrauch. Fahrt- und Schubkurve bieten sich ungemein leicht zur Verzeichnung. Hat man, s. Fig. 365, den Kurbelkreis a aus 2 geschlagen und den Schwingungspunkt 3, der um b von 2 absteht, abgetragen, so liefert ein Kreis mit b aus 3 in den Punkten M_1 und M_1' die Schubmittelpunkte, d. h. diejenigen Kurbelstellungen, in denen jeder Punkt des Lenkstabes d sich in seiner mittleren Lage auf seiner Bahn 1.3... befindet. Daher ist in irgend einer Stellung 3.1 oder 3.1′ des Lenkstabes das von dem Kreisbogen $M_1\,2\,.\,M_1'$ abgeschnittene Stück $1\,.\,B = s$ bezw. $1'B = s'$ der der Lage zukommende Fahrstrahl $2\,.\,K$, bezw. $2\,.\,K'$ der Schubkurve. Ausserdem ist das Loth $2\,.\,F_0$ aus 2 auf den Lenkstab der Fahrstrahl f für die Fahrtkurve. Die Punkte F_0 liegen, da $2\,.\,F_0$ rechtwinklig zu 3.1 steht, auf einem über 3.2 als Durchmesser geschlagenen Kreise.

*) Hier verdient hervorgehoben zu werden, wie vollständig die rein kinematischen Untersuchungen Zeuners in praktische Benutzung genommen worden sind, bis in alle Einzelheiten. Es ist doch seltsam, dass hier auf einmal als „praktisch“ angesehen wird, was doch angeblich viel zu theoretisch sein soll, zu abstrakt, zu weit gehend usw. Und nun erst die Räderverzahnungen, bei denen geradezu alles Kinematik ist und die durch diese Lehre in den letzten zwei Jahrzehnten so ausserordentlich aufs neue gefördert worden ist (vergl. unten §. 70).

Die beiden so gefundenen Kurven haben Aehnlichkeit mit denen der umlaufenden Schubkurbel, sind indessen immerhin nicht unwesentlich davon verschieden.

Fig. 365

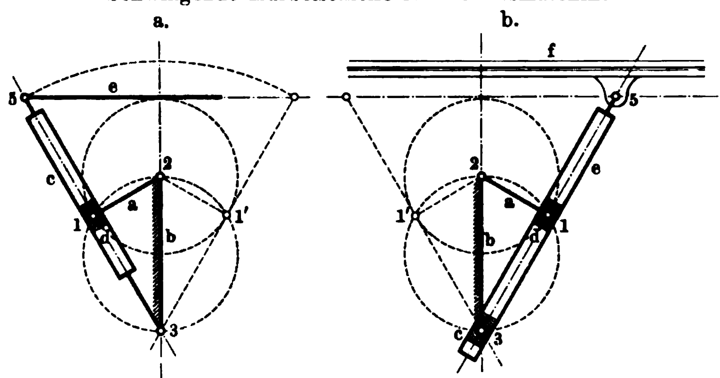
Schub- und Fahrtkurve der schwingenden Kurbelschleife



Die schwingende Kurbelschleife ist als Haupttrieb für Dampfmaschinen, Pumpen, Gebläse, Wassersäulenmaschinen und Aehn-

Fig. 366

Schwingende Kurbelschleife für Bestossmaschinen



liches in bekanntem Gebrauch; eine andere Anwendung findet sie in Hobelmaschinen, Nuthstossmaschinen, Bestossmaschinen *) zum

*) So ist deutsch zu benennen die noch immer mit fremden Lauten und fremden Buchstaben benannte *Shaping*-Maschine. *To shape* heisst formen, gestalten, hat nichts zu thun mit schaben, wie man vermuthen

Betrieb des Tisches oder des Werkzeugträgers. Hier ist der schon erwähnte „schnelle Rückgang“ wesentlich bestimmend für die Wahl des Triebes. Fig. 366, a. v. S., stellt in zwei Formen die dafür gebräuchliche Anordnung dar. Der Rückgang beginnt und endigt bei 1 und 1′, wo die Kurbel rechtwinklig zur Schleife steht. Bei den gewählten Verhältnissen ist der Rückgangswinkel 1.2.1′ halb so gross, als der gleichnamige ausspringende Winkel. Unter a ist die gewöhnliche Whitworth'sche Anordnung, unter b die sehr zweckmäfsige von Rieter (in Winterthur) dargestellt. Beidemale ist ein zweiter Kurbeltrieb zum Weiterleiten der Bewegung der Schleife angewandt, unter b engräumiger und deshalb praktischer.

§. 62

Die umlaufende Kurbelschleife

Wenn die Kette $(C_3'' P^{\perp})$ auf a gestellt und durch b betrieben wird, so erhält man die umlaufende oder rotirende Kurbelschleife $(C_3'' P^{\perp})_{b}^{a}$ (vergl. Bd. I, S. 297). Für diesen Trieb lassen sich auch nach dem vorhin angegebenen Verfahren Schub- und Fahrtkurve verzeichnen; man kommt aber seltener in den Fall, als bei dem

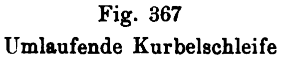
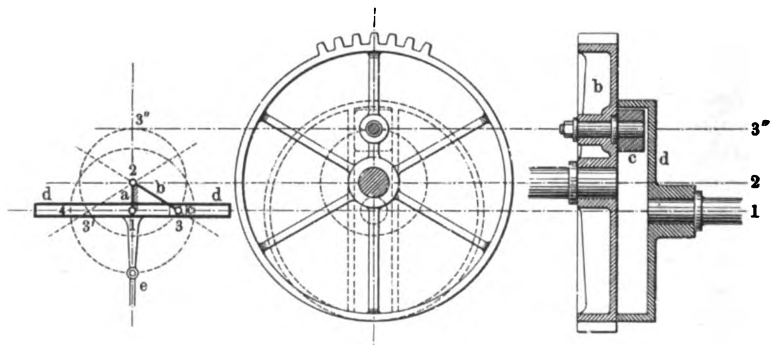


Fig. 367

Umlaufende Kurbelschleife



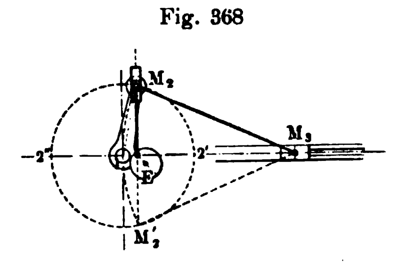
vorigen Trieb, davon Gebrauch zu machen. Whitworth hat auch diesen Trieb für „schnellen Rückgang“ eingeführt (1851), und zwar in der Form, die Fig. 367 angibt. Der Rückgang beginnt

hört. Unsre Bankarbeiter nennen dieses Formen Bestossen. Es wäre doch bei der zunehmenden Entwicklung unsres Maschinenbaues an der Zeit, das deutsche Wort an die Stelle des gänzlich entbehrlichen fremden zu setzen.

und endigt, wenn die Schleife rechtwinklig zum Glied a steht; das Verhältniss der beiden Winkel 3.2.1 und 3.2.3′ ist somit auch hier leicht zeichnerisch zu wählen; hier hat es wie oben den Werth 1:2.

Eine andere, vom Verfasser angegebene Anwendung des Triebes sei noch erwähnt. Sie ist in Fig. 368 dargestellt und ist dazu bestimmt, bei Dampfmaschinen die Ungleichheit der Vorschübe des Kolbens in den beiden Hälften der Kurbeldrehung für die Steuerung auszugleichen, und zwar in den Fällen, wo man die Steuerungsexzenter von einer vorgelegten Kurbel aus betreiben will. Bildet man diese als umlaufende Kurbelschleife und legt ihre Achse auf den Mittelpunkt der Sehne des Koppelbogens M_2 1 . M_2', so wirkt das Exzenter E sehr annähernd so, als ob die Koppel $M_2 M_3$ unendlich lang wäre.

Fig. 368



Der vierte Trieb aus $(C_3'' P^{\perp})^c$, die schwingende Schubkurbel, ist selten angewandt, weshalb wir sie hier übergehen; im I. Bande ist sie S. 298 behandelt.

§. 63

Die Doppelkurbel oder Kniekupplung

Unter dem Namen Kniekupplung ist der Doppelkurbeltrieb in Anwendung, der aus der (C_4'')-Kette entsteht, wenn man sie auf das kürzeste Glied a stellt und durch eines der Glieder b oder d betreibt. Letztere sind in der Darstellung Fig. 369, a. f. S., gleichlang angenommen; als treibend ist b gedacht, sodass die Triebformel lautet $(C_4'')\frac{a}{b}$. Sie könnte wegen der Gleichheit von b und d auch heissen $(C_4'')\frac{a}{d}$; in diesem Falle würde die in unsrer Figur wiedergegebene Fahrtkurve nur umgewendet liegen. Für diese Kurve gilt was folgt.

Gleichheitspunkte kommen nur zwei vor; demnach tritt hier nicht die Fischblasenform auf, die wir bei $(C_4'')\frac{d}{a}$ fanden, sondern die Kurve geht in einem stetigen Verlauf um den Steg 1.2 herum. Die Gleichheitspunkte, die sowohl gleicher Winkel-, als

Umfangsschnelle entsprechen, liegen bei III IV und III′ IV′; sie entsprechen den Polbahnpunkten P_1 und P_2. Wegen der Gleichheit der Kurbeln b und d sind nämlich, wie in §. 59 bei Fig. 355 a besprochen wurde, die Mittelpunktshyperbeln in die zu a recht-

Fig. 369

Die Doppelkurbel

winklige Mittelgerade zusammengefallen. Die Pole P_1 und P_2 gehören der Polbahn des Steges a an; die Polbahn selbst ist weggelassen, um die Figur nicht zu überhäufen.

In der durch kräftige Striche hervorgehobenen Lage des Triebs ist $2.F$ parallel 1.4 gezogen und als Fahrstrahl f der Fahrtkurve nach $2.F'$ geklappt. Ebenso ist verfahren bei den zur Mittellinie gleichseitigen Lagen 2.3′4′1 und 2.3‴4‴1, wo die Fahrstrahlen f_1 und f_3 die Fahrtkurvenpunkte F'_1 und F''' liefern. Meist- und Mindestwerth von v oder c sind hier unschwer zu bestimmen. Denn wenn der Punkt 3 nach 3″ in die Steglinie 2.1... kommt, so ist sein wirksamer Angriffsarm 1.3″ am kleinsten,

die Schnelle von d also am grössten, weshalb der Punkt Me auf die verlängerte 2.1... fällt. Kommt andrerseits der Punkt 4 der getriebenen Kurbel d in die 1.2... nach IV″, so ist der wirksame Arm, an dem b angreift, am grössten, die Schnelle von d also am kleinsten und der zugehörige Fahrstrahl $= 2.IV'' = 2.Mi$, sodass der Mindestwerth auf 2.III″ fällt. Die den Meistwerth bestimmende Strecke $f_2 \parallel 1.4''$, einschneidend in die verlängerte 3″4″ bei F_2, ist eingetragen. Der Vollständigkeit wegen hat auch die elliptische Mittelpunktskurve, die überall gleichweit von den Kreisen b und d absteht (vergl. Fig. 357), Aufnahme gefunden.

Der Unterschied zwischen Meist- und Mindestwerth, $2.Me$ und $2.Mi$, fällt sehr bedeutend aus und ist durch Verlängerung von a*) noch steigerbar. Das Ganze eignet sich deshalb auch für den schon wiederholt erwähnten „schnellen Rückgang". Hierfür wird der Trieb mit bestem Erfolge verwendet von der Werkzeugfabrik von Ducommun, Dubied & Cie in Mülhausen im Elsass. Das Verhältniss zwischen Vor- und Rückgangswinkel ist gegeben durch die Bogen, die zwischen den Gleichheitspunkten III und III′ liegen; es beträgt bei den hier gewählten Verhältnissen rund 3:2.

§. 64

Die Antiparallelkurbeln

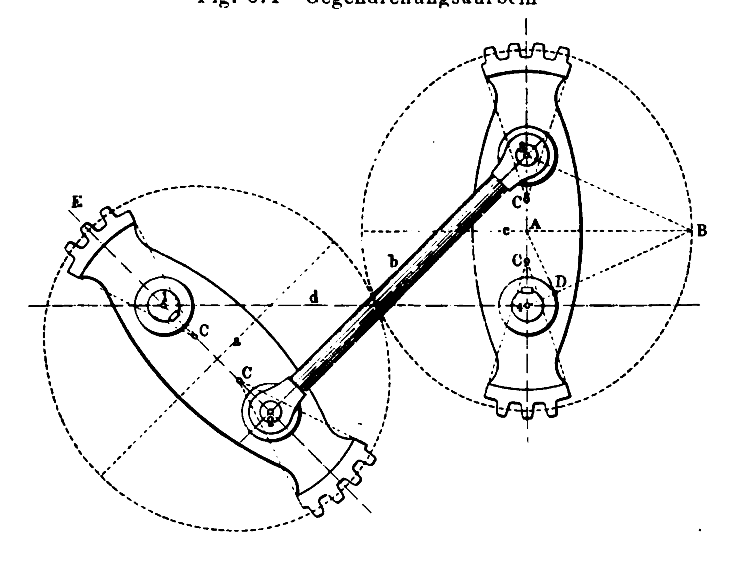
Macht man in der Kette (C_4'') die Gliedlänge $a = c$ und die Gliedlänge $b = d$, so entsteht zunächst eine Parallelkurbel nach Fig. 252, die aber, wenn a in die Richtung von d fällt, zwei wirkungslose Lagen aufweist (s. S. 406). Aus diesen Lagen kann das Getriebe in die umgeschlagene Stellung, die Fig. 370, a. f. S., vorführt, übergehen. Die Polbahnen gehen dann, wie der Verfasser früh gezeigt hat**), in zwei gleiche Ellipsen an a und c und zwei gleiche Hyperbeln an b und d über. Die Ellipsen haben die lange Achse $b = d$ und den Brennpunktabstand $a = c$, die Hyperbeln die Hauptachse $a = c$ und den Brennpunktabstand $b = d$. Die wirkungslosen Lagen kann man dadurch zwangläufig machen, dass man den Gliedern an den Polbahnscheiteln kurze

*) Modell im kinematischen Kabinet der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin.

**) Civil-Ingenieur, Bd. V, 1859; vergl. auch Bd. I, S. 187.

Fig. 370 Die Antiparallelkurbeln

Fig. 371 Gegendrehungskurbeln



Stückchen Verzahnung gibt, wie in Fig. 371 beispielsweise für die Ellipsenscheitel gezeigt ist.

In unsrer Figur ist die Aufgabe so gedacht, dass schneller Rückgang, und zwar im Verhältniss 3 : 1, stattfinden solle. Zu dem Ende ist der Winkel 2.1.4 = 45°, das ist $^1/_3$ vom Winkel 4.1.E, der 135° umfasst, gewählt. Die lange Achse 1.4 = 2.3 hat dann zu sein $= a\left(\frac{1}{\cos 45^0} + 1\right)$ $= (1{,}414 + 1)\,a = 2{,}14\,a$. Mit der halben langen Achse aus 4 und 3 Kreise beschreibend, erhält man in B einen Endpunkt der kurzen Achse, und nun, indem aus der Ellipsenmitte A auf die 4.B ein Loth AD fällt, in BD den Krümmungshalbmesser für die Ellipsenscheitel an den Enden der langen Achse; die Krümmungsmittelpunkte C sind um BD von den Ellipsenscheiteln abstehend eingetragen. Auf die Kreise aus den Punkten C werden nun kurze Verzahnungsbögen gesetzt. Letztere muss man so einrichten, dass an einem Ende jedes Armes eine Zahnlücke, am andern ein Zahn steht, worauf dasselbe Gussmodell für die beiden Arme benutzt werden kann. Wollte man, wie oft geschehen, elliptische Zahnräder für den vorliegenden Trieb anwenden, so hätte man die wechselnden Krümmungen der Ellipsen, die statt der Theilkreise als Polbahnen zu dienen hätten, berücksichtigen müssen. Dies macht die Verzahnungsaufgabe schwierig. Hier wird dieselbe leicht, da für die kurzen Bögen an den Ellipsenscheiteln der Krümmungskreis ohne weiteres als voller Ersatz der Ellipse dienen kann *). Die Koppel 2.3 und der Steg 1.4 sind mit selbseitiger Schalennachstellung zu versehen, damit die Abnutzung die Länge dieser Glieder nicht verändert.

Wichtig ist es uns nun, die Fahrtkurve oder Velozide des Triebs kennen zu lernen; sie lässt sich analytisch wie folgt bestimmen. Die Koppel b dreht sich augenblicklich um den Pol P, Fig. 370, und zwar bei 3 linksum mit der Schnelle v_1, wenn bei 2 Rechtsdrehung mit der Schnelle v geschieht. Demnach haben wir: $-v_1 : v = 3.P : 2.P = 1.P : (1.P - a)$, oder, den Werth $2.P = 4.P$ mit r bezeichnend und beachtend, dass $a = c$ ist: $-v_1 : v = -w_1 : w = (r + a) : r$. Hierfür aber ist nach Fig. 370 $r^2 = (a + r)^2 + b^2 - 2\,(a + r)\,b \cos\omega$; und hieraus entwickelt sich:

$$-\frac{v_1}{v} = -\frac{w_1}{w} = \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2 - 2\,ab\cos\omega} \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

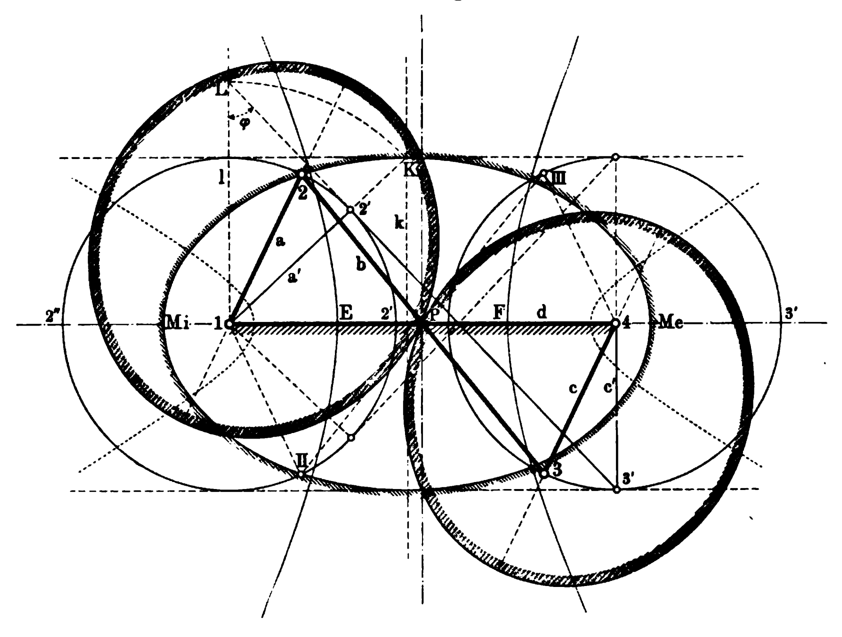
Denkt man sich, um auch dies alsbald zu erledigen, statt 1.4 oder d das Glied 1.2 = a festgestellt, und sucht darauf das Schnellenverhältniss der beiden nun drehbaren Glieder b und d

*) Anwendung mit 3 Zähnen an den Ellipsenscheiteln s. in Joshua Roses Mechanical Drawing self-taught, London 1883, p. 220. Der Trieb in Fig. 371 eignet sich sehr, wenn ein besonders schneller Rückgang, z. B. 4 : 1 oder noch mehr, verlangt wird, wie bei Langlochbohrmaschinen.

auf, so gelangt man zur selben Gleichung, nur mit dem Pluszeichen vor v und w. Das bedeutet: dass in den Trieben $(C_2'' \mathrel{\underline{Z}} C_2'')^{\frac{d}{a}}$ und $(C_2'' \mathrel{\underline{Z}} C_2'')^{\frac{a}{b}}$ dasselbe Schnellenverhältniss herrscht, dass aber die Drehungen beim ersteren gegensinnig, beim letzteren gleichsinnig vor sich gehen. Ich habe deshalb gleich zu Anfang den ersteren Kurbeltrieb die Gegen-

Fig. 372

Fahrtkurve der Antiparallelkurbeln



drehungskurbeln genannt. Die ausführlichere Benennung wird zu lauten haben für die beiden Fälle: gegenläufige und gleichläufige Antiparallelkurbeln.

Die beidemal gültige Gleichung (45) ist aber die aus dem Brennpunkt 1, Fig. 372, genommene Polargleichung einer Ellipse, und zwar von:

$$\left.\begin{aligned} &\text{der grossen Halbachse} \;.\;.\; l = a\,\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \\ &\text{der Exzentrizität} \;.\;.\;.\;.\; e = \frac{a\,(2\,a\,b)}{b^2 - a^2} \\ &\text{und der kleinen Halbachse}\; k = a \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (46)$$

Die Einsetzung dieser Werthe in Formel (45) liefert die Ellipsengleichung:

$$p = \frac{l^2 - e^2}{l - e \cos \omega}.$$

Stellt man nun c in die Lage $c' = 4.3'$ rechtwinklig zu d, so kommt a in die Lage $a' = 1.2'$ rechtwinklig zu b. Die verlängerte Koppel trifft dann in L die Senkrechte, die wir in 1 auf d errichten. Von dieser Länge $1.L$, die wir mit l bezeichnen wollen, gilt nun, wenn wir den Winkel $1L2'$ mit φ bezeichnen, $l \sin \varphi = a$, wobei φ dem Werth in der Gleichung $a^2 + \left(b - \frac{a}{\cos \varphi}\right)^2 = \frac{a^2}{\cos \varphi^2}$, und $a \operatorname{tg} \varphi + \frac{a}{\cos \varphi} = b$ entspricht. Entwickelt man diese Ausdrücke, so erhält man:

$$l = a \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2},$$

d. h. die Länge $1.L$ ist gleich der grossen Halbachse der Ellipse, die die Fahrtkurve darstellt. Nun ist letztere ungemein leicht zu bestimmen, indem man nur aus 1 einen Bogen mit l zu beschreiben hat, um in dessen Schnittpunkt K mit einer der äusseren Tangenten an beide Kreise den Endpunkt der kurzen Achse zu finden. 1 ist der eine Brennpunkt der Fahrtkurve, der andere ist aus K durch Kreisschlagung sofort zu bestimmen. Die Fahrtkurve fällt, ähnlich den Polbahnellipsen, um so mehr gestreckt aus, je kleiner $b : a$ ist; so wird z. B. $l = {}^5/_3\, a$, wenn $b = 2a$, dagegen nur $= {}^{17}/_{15}\, a$, wenn $b = 4a$.

Gleichheitspunkte für Umfangs- wie Winkelschnelle von a und c sind zwei vorhanden; sie sind mit 2 und II bezeichnet und entsprechen den zwei parallelen Lagen der Kurbeln, vgl. Fig. 354 b, d. h. Berührungen von Kreisen aus unendlich fernen Mittelpunkten. Andere Gleichheitspunkte kommen nicht vor, indem die Polbahn zum ruhenden Gliede d, die Hyperbel mit den Aesten E und F aus Fig. 370 von den Mittelpunktsörtern aus Fig. 355 nicht geschnitten werden. Diese Oerter sind: für Fig. 355 a die Senkrechte zu d in dessen Mitte, und für Fig. 355 b die beiden Hyperbeläste, die neben 1 und 4 punktirt eingetragen sind. Für den Meistwerth $1.Me$ gilt das Verhältniss $v_1 : v = w_1 : v = (b + a) : (b - a)$, für den Mindestwerth $1.Mi$ das Verhältniss $(b - a) : (b + a)$ *).

*) Sehr lehrreiche Modelle der Antiparallelkurbeln enthält das kinematische Kabinet der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin.

§. 65

Gleichschenkliger Kurbeltrieb

Die schon auf S. 342 erwähnten gleichschenkligen Kurbeltriebe sind nicht von nennenswerther praktischer Bedeutung, obwohl ein hervorragender Ingenieur, Galloway, zuerst auf sie aufmerksam gemacht hat. Die Form, auf die er hinwies, war die in Fig. 349 a dargestellte, wo Kurbel a und Steg $b = a$ gerade halb so gross sind, als Koppel und Schwinge $d = c$. Bei diesem Trieb wird, wenn a treibend ist und volle Drehungen durchläuft, die Schwinge zur Kurbel erst bei zwei Umläufen von a ein ganzes mal herumgeführt; es findet also Uebersetzung vom Verhältniss 1:2 statt. Der Verfasser zeigte schon im I. Bande, S. 191, dass diese Erscheinung nicht von dem Grössenverhältniss der Kurbeln, sondern von der Gleichschenkligkeit des Triebes herrührt, dass nämlich zweimalige Drehung von a bei einer einfachen Drehung von c auch dann stattfindet, wenn $a < d/_2$ oder $> d/_2$ ist, wofern nur $a = b$ und $c = d$, sowie $a < d$ ist, vergl. Fig. 349 b und c. Zugleich wurde an derselben Stelle gezeigt, dass man nicht mit Galloway Schwungmassen zur kraftschlüssigen Ueberschreitung der wirkungslosen und freien Punkte anzuwenden braucht, sondern dass diese Punkte paarschlüssig überschritten werden können, wenn man, ähnlich wie bei den Antiparallelkurbeln, an den Polbahnscheiteln kurze Verzahnungsstücke anbringt. Ausreichend sind für blosse Vorführung im Modell je ein Zahn, bezw. die zugehörige Lücke an jedem Polbahnscheitel *). Als Beispiel werde hier wie früher der gleichschenklige Kurbeltrieb mit dem Kurbelverhältniss 3:1 gewählt, s. Fig. 373, worin ein Polbahnenpaar dargestellt ist. Wir wollen aber hier die Polbahnen genauer als damals betrachten, da sie von erheblichem theoretischen Werth sind.

Die Polbahnen zum Stege $b = a$ und zur Kurbel a fallen, wie Fig. 374 sofort verstehen lässt, unter sich gleich aus, ebenso diejenigen zur Koppel d und Schwinge oder zweiten Kurbel $c = d$. Wir haben zu bestimmen die Polstrahlen $r = 1 . P$ für die Kurbel a und $r_1 = 3 . P$ für die zweite Kurbel $c = d$. In dem Dreieck

*) Sehr schönes Modell enthält das kinematische Kabinet der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin.

Fig. 373 Gleichschenkliger Kurbeltrieb

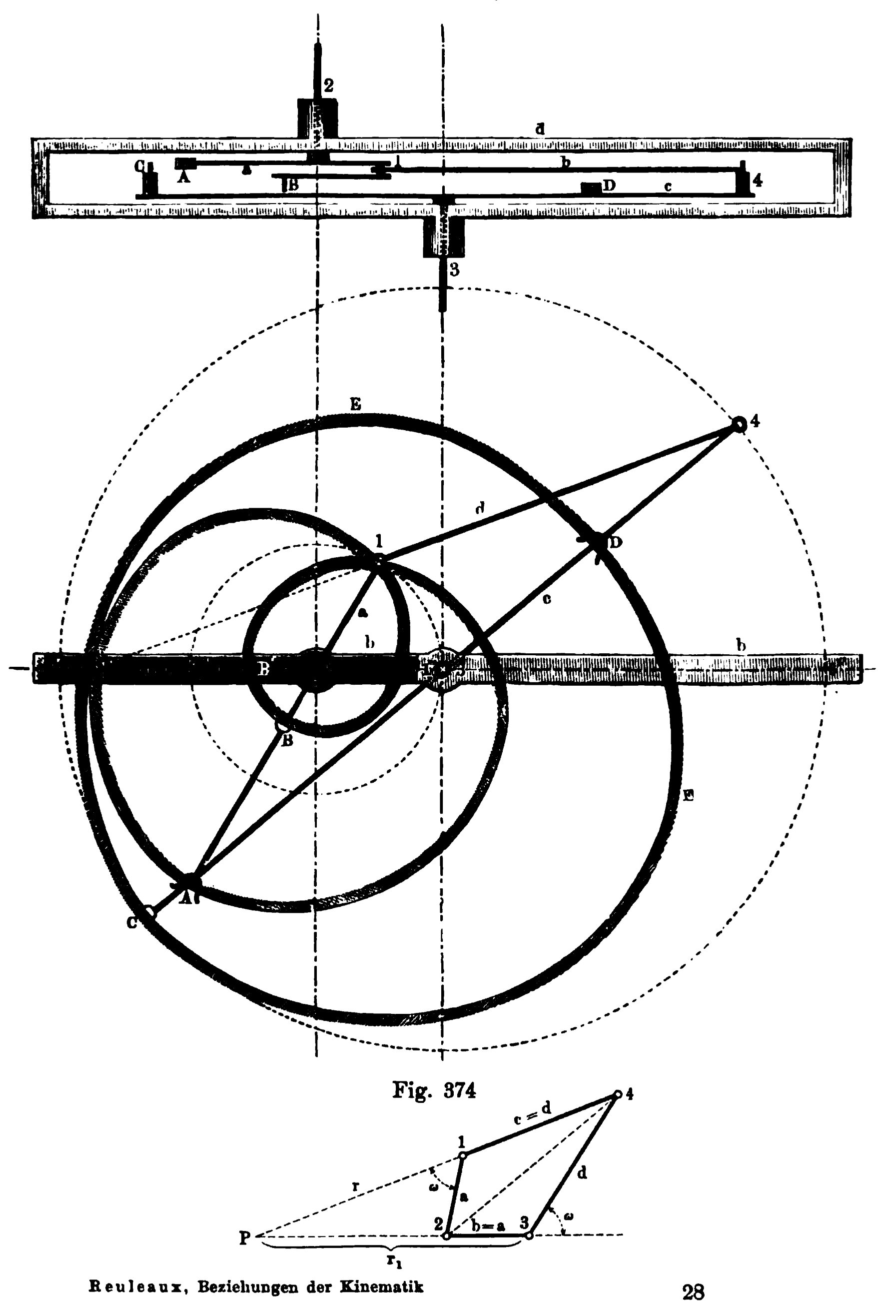


Fig. 374

3.4.P wird der Winkel bei 4 durch die 4.2 halbirt; demnach verhalten sich die Seiten 4.P und 4.3 wie die Grundlinienabschnitte 2.P und 2.3.

Polbahnen zum Gliede a. Für diese erhalten wir, indem wir sie als Funktion des Drehwinkels $2.1.P = \omega$, somit durch eine Polargleichung ausdrücken wollen: $(r + d) : d = 2.P : a$, und daraus

$$\frac{(r + d)^2}{d^2} = \frac{r^2 + a^2 - 2\,r\,a\cos\omega}{a^2},$$

woraus sich entwickelt:

$$r = \frac{2\,a\,d^2}{d^2 - a^2}\cos\omega + \frac{2\,a^2 d}{d^2 - a^2}$$

wofür wir setzen können: . . . . (47)

$$r = R\cos\omega + \frac{a}{d}\,R$$

Das aber ist die Polargleichung einer Perikardioide, vergl. S. 14 die Anmerkung; und zwar ist das erste Glied das Stück QR in Fig. 6, wobei QT der Halbmesser R des um den ruhenden Kreis R_1 rollenden Hohlkreises ist. Das zweite Glied bedeutet das Stück QP in derselben Figur. Dieser Werth ist aber hier der $(a : d)$te Theil von R. Somit erweist sich die zum Gliede a gehörige Polbahn, die eine Cyklone (s. S. 290) der vorliegenden (C_4'')-Kette ist, als eine Cykloide, und zwar Pericykloide, insbesondere Perikardioide.

Polbahn zum Gliede c. Für die zweite, die vorige berührende Polbahn haben wir für den Polstrahl $r_1 = 3.P$ zunächst $(r_1 - a) : a = 4.P : d$. Damit kommt:

$$\frac{(r_1 - a)^2}{a^2} = \frac{r_1^2 + d^2 + 2\,r_1\,d\cos\omega}{d^2},$$

und hieraus nach kurzer Entwicklung:

$$r_1 = \frac{2\,a^2 d}{d^2 - a^2}\cos\omega + \frac{2\,a\,d^2}{d^2 - a^2}$$

wofür sich setzen lässt: . . . . (48)

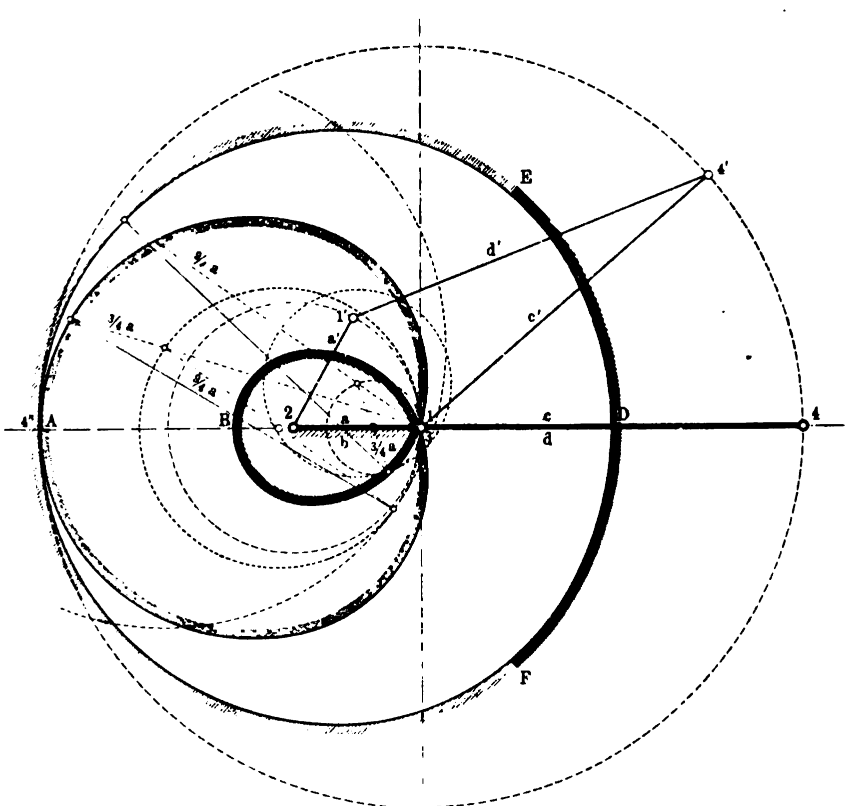
$$r_1 = R'\cos\omega + \frac{d}{a}\,R'$$

Dies ist ebenfalls die Polargleichung einer Perikardioide, die indessen einen andern Grundkreis hat, als die vorige. Die Grund-

kreise und Zusatzglieder beider Kurven stehen aber in der bemerkenswerthen Beziehung, dass $R' = \frac{a}{d} R$ oder = dem Zusatzglied s der ersten Kurve, und dass das Zusatzglied s' der zweiten $= \frac{d}{a} R'$, d. i. = dem Rollkreishalbmesser der ersten Kurve ist.

Fig. 375 stellt im selben Mafsstab wie Fig. 373 das für $d = 3a$ berechnete Polbahnenpaar dar, und zwar in derjenigen

Fig. 375 Polbahnen des gleichschenkligen Kurbeltriebes



Lage des Triebes, in welcher derselbe in 1.3 einen freien Punkt haben würde, wenn nicht die erwähnten Uebergangszähne, die Fig. 373 zeigt, angebracht wären. In dieser Lage decken sich die Polbahnen zu a und b, sowie diejenigen zu c und d, sodass unsre Fig. 375 die vier Polbahnen zusammen darstellt.

Für die Abmessungen der Grund- und Rollkreise der beiden als Polbahnen aufeinander rollenden Perikardioiden hat man bei:

	$d = 3a$	$d = 2a$	$d = {}^5/_3\,a$
$R =$	${}^9/_4\,a$	${}^8/_3\,a$	${}^{25}/_8\,a$
$R_1 =$	${}^9/_8\,a$	${}^4/_3\,a$	${}^{25}/_{16}\,a$
$s =$	${}^3/_4\,a$	${}^4/_3\,a$	${}^{15}/_8\,a$
$R_1' =$	${}^3/_4\,a$	${}^4/_3\,a$	${}^{15}/_8\,a$
$R' =$	${}^3/_8\,a$	${}^2/_3\,a$	${}^{15}/_{16}\,a$
$s' =$	${}^9/_4\,a$	${}^8/_3\,a$	${}^{25}/_8\,a$

Das erste der Verhältnisse von $d : a$ ist das unsrer Fig. 375, das zweite das von Galloway gewählte, erste in Fig. 349, und das dritte das letzte in unsrer Fig. 349. Man sieht, wie schon erwähnt, dass die Beziehungen der Cykloidenkreise zu a und d nicht unmittelbar aus den Kurbellängen zu erschliessen sind.

Von den beiden Perikardioiden unsrer Fig. 375 ist die erste, den kleineren Gliedern a und b zukommende, eine „verkürzte“, da s kleiner ist, als R_1, und zwar um ${}^9/_8 - {}^3/_4$ oder ${}^3/_8\,a$, d. i. ${}^1/_6\,R_1$ kleiner. Die Eigenschaft der Verkürzung macht sich in der Schleifenform, die die Kurve annimmt, bemerklich. Bei der zweiten Perikardioide, der zu c und d gehörigen, ist der Zusatz s' grösser, als der Halbmesser R' des rollenden Kreises, beträgt nämlich ${}^9/_4\,a$ gegen die ${}^3/_4\,a$, die R' gross ist, somit ist die zweite Perikardioide eine „verlängerte“ Cykloide. Die beiden Kurven haben gleiche Umfangslängen, rollen also gegenseitig, und zwar beide ein einziges mal bei jedem ganzen Spiel des Triebes; die Schleife der innen gelegenen Kurve bedingt aber das erwähnte zweimalige Umschlagen oder die zweimalige Drehung des Gliedes a bei einmaliger Drehung von c.

Die Aufsuchung der Fahrtkurven zu den beiden Trieben, die man aus der vorliegenden Kette herstellen kann, würde für die gegenwärtige Untersuchung und deren Zwecke zu weit führen*).

§. 66

Zusammenfassung des Vorigen

Was sich durch die soeben beendigte Untersuchung von Einzelfällen der Kurbeltriebe hat erreichen lassen, ist nicht gering. Zunächst hat sich gezeigt, dass die „Cyklonen“ (vergl. S. 290),

*) Es sei indessen bemerkt, dass Herr Reg.-Bauführer H. Heimann in seiner Stellung als mein Assistent s. Z. gezeigt hat, dass die Fahrtkurven in beiden Fällen sich aus Kreis- und Ellipsenbogen zusammensetzen.

die Polbahnen der (C_4'')-Kette, in manchen Fällen in einfachere Formen übergehen. Sie werden unter Umständen Hyperbeln, Ellipsen, auch Parabeln, wie sich oben bei Fig. 239 zeigte, auch Kreise, wie wir bei den Kardankreisen schon früher (§. 44) sahen, endlich auch sogar Cykloiden. Hierbei bestätigt sich, dass die Phoronomie oder Bewegungsgeometrie auch die Behandlung der Elliptoiden, Hyperboleïden, Paraboleïden usw., von denen in §. 20 bis 23 die Rede war, ins Auge zu fassen hat; haben wir doch hier sogar gefunden, dass in dem schlichten „gleichschenkligen" Kurbeltrieb Cykloideïden beschrieben werden. Dieser Ueberblick ist an sich schon wichtig und leistet für das Verständniss der Triebe gute Dienste, selbst wenn die Einzelheiten nicht weiter verfolgt werden. Bemerkenswerth ist aber, dass die Veranschaulichung der Bewegungen durch kinematische Modelle sozusagen zur Nothwendigkeit wird, wenn die Vorgänge, die doch höchst wichtigen praktischen Zwecken dienen, verständlich gemacht werden sollen. Das kinematische Modell mit seinen ganz schlichten Formen ist gleichsam eine in sich bewegbare räumliche Zeichnung, die, wie die ebene Zeichnung für andere Fälle, das Verständniss erleichtert und immer wieder auffrischt. Die Polbahnen hat der Verfasser in einem Theil dieser Modelle dadurch zur Anschauung gebracht, dass er auf einer feststehenden Glasscheibe die einem ruhenden Gliede der Kette zukommende Polbahn mit Schmelzfarbe aufgetragen hat, während die zugehörige, einem beweglichen Glied zukommende Polbahn als Umriss eines in Metall ausgeführten Stückes angebracht wurde. Beim Spiel des Getriebes lässt sich sehr gut das Aufeinanderrollen der beiden Kurven verfolgen und beim Unterricht vorzeigen. Man versuche nur, sich das Rollen der zwei gleichen Paare von Polbahnen des gleichschenkligen Kurbeltriebes, Fig. 373 und 375, aus der blossen Zeichnung, deren absichtlich zwei oben gegeben worden sind, vorzustellen, und man wird das Bedürfniss nach der Modellhülfe lebhaft empfinden; eine der vier Polbahnen steht mit dem „Aufstellungsgliede" fest, die drei andern bewegen sich; das ist zu viel für die ebene Zeichnung, weshalb oben beidemal auch nur eines der Polbahnenpaare gezeichnet wurde*).

*) Die vom Verfasser angelegte kinematische Sammlung der Technischen Hochschule zu Berlin ist fast vollständig wiederholt worden, nämlich unter Ausschluss einiger veralteter Modelle für die Universität in Montreal, Kanada, wo sie in reger Benutzung steht; zu einem grossen

Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, wie unrichtig, ja schädlich es war, dass man, allen Abmahnungen zum Trotz, versucht hat, von zwei Polbahnen die eine, wenn sie ruhte, „Polbahn“, die andere, die dann beweglich war, „Polkurve“ zu nennen, während sie doch einfach nur die bewegliche von beiden war. Wohin man gerieth, um andere Polbahnen derselben Gliederung, die sich gleichzeitig bewegten und nur bewegten, zu bezeichnen, beachtete man nicht. Dieser andern Polbahnen konnten bei einer bloss viergliedrigen Kette, wenn man deren vier Elementenpaare als höhere Paare ausgeführt denkt, noch zehn Stück, fünf Paaren angehörig, sein *). Zu verstehen ist die logische Entgleisung, die hier stattgefunden hatte, und aus der man durchaus nicht zurück wollte, aus dem Herübernehmen der Begriffe aus Poinsots trefflichen Arbeiten. Poinsot betrachtet stets nur zwei gegeneinander bewegliche Gebilde und nimmt oder nahm stets eines derselben als ruhend an; er nannte den Weg des Poles an dem ruhenden Gebilde *polhodie*, den am beweglichen *herpolhodie*. Glücklich war diese Unterscheidung nicht, wohl aber begreiflich wegen der Ausgangsbegriffe. Man nahm nun beide Namen unbesehen in unsre Sprache mit herüber (Schellbach). Der Verfasser verdeutschte „*polhodie*“ wörtlich und buchstäblich in „Polbahn“, hatte aber auch vorher schon die Vertauschbarkeit des ruhenden Gebildes mit dem beweglichen und ausserdem die Mehrzähligkeit der Polbahnen in einer und derselben Gliederung aufgezeigt, d. i. den weittragenden und grundlegenden Lehrsatz von der kinematischen Kette, und im unmittelbaren Anschluss daran den Umkehrungssatz aufgestellt. Diesem letzteren Satze gegenüber konnte die Poinsot'sche Einschränkung nicht aufrecht bleiben. Das übersahen diejenigen, die nun meinen Vorschlag, „Polbahn“ zu sagen, zwar annahmen, dieser aber sofort eine „Polkurve“ in einer obendrein unglücklichen Namenswahl gegenüberstellten **). Unsre obigen zahlreichen Beispiele zeigen deutlich, dass die beiden Bahnen ganz gleichwerthig sind, die, nach dem Sprachgebrauch der Logik, zufällige „Ruhe“ der einen sie nicht von der Partnerin unterscheidet, beide auch mindestens ebenso oft gleichzeitig beweglich, also gänzlich ununterscheidbar sind.

Die Mannigfaltigkeit der Kurbeltriebe ist durch unsre Beispiele nur in beschränktem Mafs vor Augen geführt worden, indem nicht nur die zusammengesetzten Triebe, sondern auch die im I. Bande erwähnten einfachen konischen Kurbeltriebe nicht

---

Theil ist sie wiederholt worden für die Technische Hochschule in Aachen und für die Cornill-Universität in Ithaka, Staat Neuyork, die unter Thurstons vorzüglicher Leitung steht; ein ganz kleiner Theil ist wiederholt worden für die Technische Hochschule in Darmstadt. Ausgeführt haben die Wiederholungen nach des Verfassers Zeichnungen die Mechaniker G. Voigt, Neuenburger Strasse 12, Berlin, und, zu einem kleineren Theil, H. Hoff, Brandenburgstrasse 25, Berlin. Auch die Anstalt von J. Schröder in Darmstadt liefert eine Reihe der Modelle.

*) Ausführlich habe ich die Frage in der Vorrede zur IV. Aufl. meines Konstrukteurs, S. XXXIV ff. behandelt.

**) Warum eine Krümmung hervorheben, während die Bahn doch sehr oft eine Gerade ist!

behandelt worden sind; Aufgabe der angewandten Kinematik wird es sein, sie vollständig zu behandeln.

Die Fahrtkurven oder Veloziden sind ungemein lehrreich; sie geben Aufschlüsse, die in wichtigen Fällen willkommen sind. Die Umgehung transzendenter Gleichungen vermöge Einschiebung der Mittelpunktsörter der Drei-Kreis-Berührung hat gestattet, die „Gleichheitspunkte" verhältnissmäſsig leicht festzustellen; an die Sorgfalt des Zeichners stellt sie allerdings nicht unerhebliche Anforderungen. Neben den Polbahnen nehmen auch die Fahrtkurven unter Umständen Kegelschnittform an, wie bei den Antiparallelkurbeln gezeigt werden konnte; der Ueberblick über die Schnelligkeitswechsel wird dadurch wesentlich erleichtert.

Ebenso brauchbar, oder oft noch brauchbarer sind die als „Schubkurven" bezeichneten Darstellungen der Schubgesetze der Kurbeltriebe. Ihre Anwendungen bei den Schiebersteuerungen haben dahin geführt, sie fest mit der Dampfmaschine zu verbinden oder damit verbunden anzusehen. Das geht für die gewerblichen Mittelschulen auch ganz gut an, weil daselbst die Anwendungen die Hauptsache sind. Für den Hochschulunterricht dagegen empfiehlt es sich, die einschlägigen Betrachtungen freier abzulösen, sie in ihrer Allgemeinheit wissenschaftlich zu behandeln. Denn nicht allein werden die Verwendungen der Kurbeltriebe in Arbeitsmaschinen aller Art immer häufiger, sondern die Allgemeinheit der Auffassung vertieft und verschärft auch das Verständniss und kann dadurch viel mühsames Suchen nach geeigneten Mechanismen ersparen. Die „Cyklonen", die „Fahrtkurven" und die „Schubkurven" sollten einen festen Bestand in der Kenntniss von den Kurbeltrieben, ganz abgesehen von den Anwendungen, und vor denselben, beim Maschinen-Ingenieur bilden.

§. 67

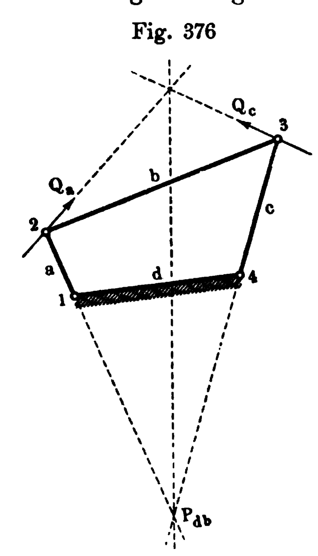
Kräfte im Kurbeltrieb

Obwohl es Aufgabe der Mechanik ist, die Kräfte in den Kurbeltrieben zu untersuchen, müssen wir doch hier in Kürze auf die sich daran knüpfenden Fragen eingehen, da die Kinematik die Behandlung gewisser mechanischer Aufgaben sehr erleichtert. Dies gilt namentlich von drei Aufgabenreihen.

Die erste betrifft die Massenwirkungen in der rotirenden Geradschubkurbel (§. 60) bei deren Anwendung in der Dampf-

maschine. Eingeleitet wurde diese für die Schwungradtheorie so wichtige Untersuchung durch den amerikanischen Ingenieur C. T. Porter 1868, indem er darauf hinwies, dass die Masse von Querhaupt, Kolbenstange und Kolben im Anfang des Schubes einen Theil des Dampfdruckes verbraucht, um beschleunigt zu werden, gegen Ende des Schubes die aufgenommene Arbeit aber wieder abgebe. Porter zeigte, wie sich aus der Beachtung dieser Vorgänge die Verhältnisse für schnelllaufende Dampfmaschinen ermitteln lassen; seine Ausführungen bestätigten dies nicht nur, sondern riefen eine wichtige Entwicklung des Dampfmaschinenbaues in der genannten Richtung hervor. Radinger hat die Porter'sche Theorie 1869 aufgenommen und weiter ausgebildet*). Rittershaus gab vom kinematischen Standpunkt aus eine genaue Ermittlung der sogenannten Beschleunigungskurve für das Querhaupt; Mohr und Pinzger arbeiteten in derselben Richtung**). Eine besonders elegante Lösung der Aufgabe gab mit kinematischer Behandlung Prof. Klein von der Lehigh-Universität in Pennsylvanien***).

Fig. 376



Eine zweite Aufgabenreihe liegt im Gebiet des allgemeinen Maschinenbaues bei den Anwendungen der Viercylinderkette, in welcher das Gleichgewicht von Kräften, die an verschiedenen Gliedern angreifen, zu bestimmen ist. Bei den statischen Aufgaben dieser Art kann die Kinematik sehr gute Dienste leisten. Einige Beispiele seien vorgeführt.

Greifen zwei Kräfte Q_a und Q_c an den Endpunkten 2 und 3 der Arme a und c an, so ist die Aufsuchung ihres Verhältnisses für das Gleichgewicht leicht; denn da nun die Kräfte zugleich an dem festen Gebilde b angreifen, muss ihre Mittelkraft durch

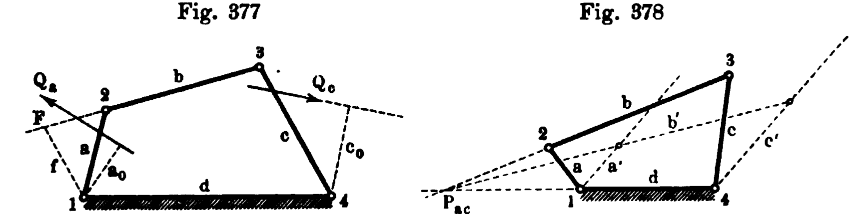
*) S. Radinger, Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit, 3. Aufl., Wien 1892.

**) S. Zeitschr. d. Ver. D. Ingenieure 1883, S. 135, 182, 183, auch Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., S. 719.

***) Franklin Inst. 1891, Sept. u. Oktober; vorher aber schon Kirsch, Z. V. D. Ingenieure 1890, S. 1320.

den Pol P_{db} der Glieder d und b gehen, s. Fig. 376, ist also ihrer Richtung nach sofort gefunden. Anders ist es, wenn die Kräfte an andern Punkten der Kurbel und der Schwinge in gegebenen Richtungen angreifen, wie in Fig. 377 angenommen ist. Dies kommt manchmal vor, u. a. bei den „Steuerungsreglern", von denen auf S. 173 und 182 wichtige Beispiele gegeben worden sind, und deren Benutzung in zunehmendem Mafse Aufnahme findet *). Die Kräfte wirken dann an Hebelarmen gleich den Lothen a_0 und c_0, die aus 1 und 4 auf sie gefällt werden. Diese Lothe haben aber, wie wir aus §. 58 wissen, Winkelschnellen

Fig. 377 Fig. 378



w_a und w_c, die sich verhalten wie unsre parallel zu c aus 1 gezogene $1.F = f$ zu c. Demnach hat man: $Q_a a_0 = Q_c c_0 f : c$, oder

$$\frac{Q_a}{Q_c} = \frac{c_0}{a_0}\frac{f}{c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (49)$$

eine Gleichung, aus der sich das gesuchte Verhältniss der Kräfte nach zeichnerischer Auftragung von a_0, c_0, f und e ermitteln lässt.

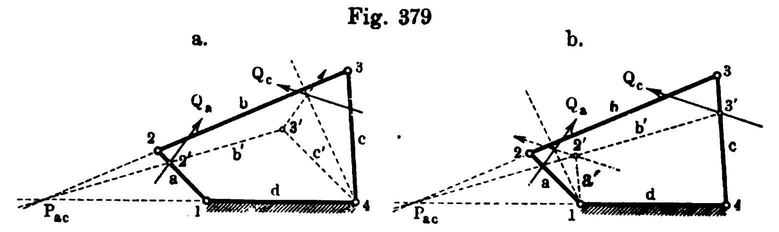
Kennedy hat die Aufgabe kinematisch unter Anwendung der Sätze der synthetischen Geometrie sehr schön gelöst, ihr aber auch eine vorzügliche elementare Lösung gegeben, die hier folgen möge **). Ist ein Lenkerviereck $abcd$, Fig. 378, gestellt auf d,

*) Diese Gangregler sind nicht gerade leicht zu berechnen, bieten aber grosse Vortheile für die unmittelbare Verstellung der Steuerungsexzenter der Dampfmaschinen. Auf der Lehigh-Universität in Pennsylvanien hat der treffliche Kinematiker Professor Klein für die Studirenden zwölf vollständige Beispiele von solchen Steuerungsreglern in Tafeln theoretisch so weit vorbereitet, dass die Polbahnen der Triebe in ihren aufeinanderfolgenden Stellungen allgemein ermittelt sind und durch Einsetzung besonderer Zahlenwerthe besonders bestimmt werden können. Dies ermöglicht, einer grösseren Anzahl von Prüflingen aus den vorbereiteten Plänen Prüfungsaufgaben zu stellen, die alle verschieden und zugleich ungemein lehrreich und nützlich sind.

**) Siehe Professor Alexander B. W. Kennedys „*Notes on the geometrical solution of some statical problems connected with mechanisms (linkworks)* in den *Proceedings of the London Mathematical Society, Vol. IX, Nos 137,*

in irgend einer seiner Lagen gegeben, so lässt sich für dasselbe ein anderes Lenkerviereck $a' b' c' d'$ angeben, dessen Glieder a' und c' dasselbe Winkelschnellenverhältniss haben, wie a und c. An demselben muss (vergl. §. 59) die verlängerte b' durch den Pol P_{ac} der Glieder a und c gehen, wobei die Glieder a' und c' parallel zu einander gemacht werden können. Kennedy nennt einen solchen Hülfstrieb einen „virtuellen" Trieb. In demselben hat das Glied b', wegen des Parallelismus von a' und c', augenblicklich unendlich ferne Pole in der gemeinsamen Richtung von a' und c', besitzt also augenblicklich nur eine Verschiebbarkeit in seiner eigenen Richtung und ist demnach in Bezug auf beliebige Kräftepaare in der Bildebene im Gleichgewicht. Mittelst solcher virtuellen Triebe führt Kennedy mehrere Lösungen der Aufgabe aus. Die elementarste ist die, dass man eines der parallelen Glieder, z. B. a', mit seinem Nachbar zusammenlegt, und es zugleich so lang wählt, dass $2'$ in die Richtung der gegebenen Kraft Q_a fällt, s. Fig. 379 a. Ist dies geschehen, so sind auch

Fig. 379



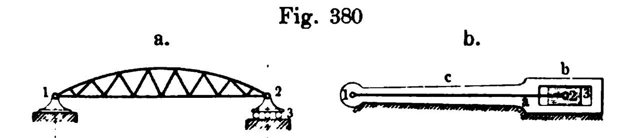
die Winkelschnellen von a und a' noch zahlenmäſsig, nicht bloss im Verhältniss, gleichgross, und man kann nun, ohne das Gleichgewicht zu ändern, die Kraft Q_a an b' entlang schieben. Findet diese Verschiebung bis zum Punkte $3'$ statt, so schneiden Q_a und Q_c einander in einem Punkt ihrer Mittelkraft, die aber durch den Pol der Glieder c und c', d. i. Punkt 4, gehen muss. Die Zusammensetzung von Q_a und Q_c kann demnach sofort ausgeführt werden. Legt man bei übrigens gleichem Verfahren c' in c, siehe Fig. 379 b, so erhält man eine zweite, der ersten im Ergebniss gleiche Lösung. Kennedy zeigt, dass sein Verfahren sich auch auf Gliederungen von beliebig grösserer Gliederzahl, beispielsweise die von Fig. 244, anwenden lässt.

---

138. Professor Kennedy hat den I. Band des vorliegenden Werkes ins Englische übersetzt, London, Macmillan, 1876. Man vergleiche auch sein treffliches Werk: *Mechanics of Machinery*, London, ebenda, 1886.

Noch einer dritten wichtigen Reihe statischer Aufgaben an kinematischen Ketten ist hier zu gedenken; es sind diejenigen an übermäfsig geschlossenen Ketten (vergl. S. 166 und 258), die der Bauingenieur für Trägerbauten zu behandeln hat. Während bis hierher die endlichen Bewegungen in zwangläufigen, aber in sich beweglichen Ketten betrachtet wurden, handelt es sich hier um Kräfte in Ketten, die in sich unbeweglich, oder genau gesprochen um solche, die nur unendlich wenig in sich beweglich sind. Wenn beispielsweise die Gliederung Fig. 380 a vorliegt, die einem Brückenträger entspricht, der an einem Ende unverschieblich, am andern Ende verschieblich gelagert ist, so ist das Bauwerk von der Art der unter Fig. 380 b dargestellten dreigliedrigen Kette $C^+ \ldots \| \ldots (C) \ldots \perp \ldots (P) \ldots \perp \ldots C_=^-$,

Fig. 380



deren Aufstellungsglied die Land- und Flufspfeiler vorstellen. Je nach dem Aufbau des Gliedes $1.2 = a$, das eine sehr zusammengesetzte Bildung haben kann, ergeben sich wichtige und formenreiche Kräfteuntersuchungen. Sie bilden ein sehr bedeutendes Gebiet der Wissenschaft des Bauingenieurs *).

§. 68

Zahnrädertriebe

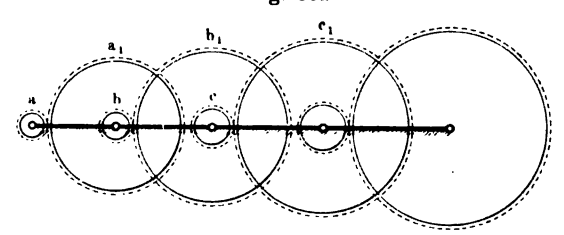
Die Zahnrädertriebe werden in erster Linie für gleichförmige Rollung ihrer Axoide gebraucht und bestehen dann aus gleichförmig verzahnten Körpern. Diese werden insbesondere Drehkörper, wenn auch die Drehungsübertragung gleichförmig sein soll; mittelst ihrer Achsen und zugehörigen Lagerungen wird die kinematische Verkettung vollzogen. Man unterscheidet dann je nach der Grundform der Drehkörper: cylindrische oder Stirnräder, Winkel- oder Kegelräder und hyperboloidische oder Hyperbelräder, und je nach der körperlichen Gestaltung der Zähne geradzähnige und Schraubenräder.

---

*) Vergl. Anmerkung S. 407.

In jedem Paare von gleichförmig verzahnten Rädern sind die Anzahlen ihrer gleichzeitig zurückgelegten Umläufe oder Runden verkehrt proportional ihren Zähnezahlen. Dies ist das Grundgesetz der gleichförmig verzahnten Räder*). Durch Vereinigung solcher Räderpaare zu einer kinematischen Kette mit gemeinsamem Steg für alle Achsen erhält man einen „zusammengesetzten" Rädertrieb, dessen einfachste Form für Stirnräder Fig. 381 versinnlichen soll. Hier ist, wenn das erste

Fig. 381



Rad a das treibende ist, das getriebene Rad in jedem Paar fest und konaxial verbunden mit dem treibenden Rade des folgenden Paares, ausgenommen das letzte Rad. Bei den Zähnezahlen a, a_1, b, b_1, c, c_1 ... k, k_1 ist die „Uebersetzungszahl", d. i. das Verhältniss der gleichzeitigen Umlaufzahlen n_k und n_a:

$$\varphi_{a-k} = \frac{n_k}{n_a} = \frac{a}{a_1}\,\frac{b}{b_1}\,\frac{c}{c_1}\,\frac{d\ldots k}{d_1\ldots k_1} \quad \ldots \quad (50)$$

φ ist hieraus bei gegebenen Zähnezahlen leicht zu bestimmen; schwieriger ist aber die umgekehrte Aufgabe, weil wegen der Gleichförmigkeit der Verzahnung die Zähnezahlen ganze Zahlen sein müssen. Hierzu tritt noch die Beschränkung hinzu, dass sehr grosse Zähnezahlen mit Rücksicht auf die Theilmaschinen und die Ausführung unerwünscht sind. Beide Beschränkungen zusammen haben zu wichtigen wissenschaftlichen Arbeiten Anlass gegeben.

Lässt sich der Quotient φ bequem in Faktoren zerlegen, so entstehen oft leichte Lösungen. So gibt z. B. $\varphi = 1/_{100000} = 1/_{10} \cdot 1/_{10} \cdot 1/_{10} \cdot 1/_{10} \cdot 1/_{10}$ fünf Paare vom Zähnezahlverhältniss 1 : 10, also etwa 6 : 60 (Gasuhren). — Wäre gegeben $\varphi = 6319 : 7663$, so wäre dies gleich $71 . 89 : 79 . 97$, sodass zwei Paare mit den Zähnezahlen 71 und 79 und 89 und 97, oder auch 71

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 516. Dasselbe ist unabhängig von der Verzahnungsform.

und 97 und 89 und 79 geeignet sein würden). — Die Uebersetzungszahl φ $= 323:7657$ ist zerlegbar in: $11.29:13.19.31$. Sie lässt sich wiedergeben durch drei Paare von den Zähnezahlen 11 und 13, 29 und 19 und 1 und 31, wobei das letzte Paar aus Schraube ohne Ende und 31er Rad bestehen könnte.*

Mit solchen Tastversuchen lassen sich manchmal wichtige praktische Aufgaben lösen, z. B. diejenige der Wechselräder für Drehbänke, deren Leitspindel nach englischen Zollen steigt, aber Schrauben erzeugen sollen, die nach aufgehenden Mafsen in Millimetern steigen. Nun ist 1″ engl. $= 304{,}79:12 = 25{,}39916$ mm. Das ist sehr nahe 25,4 mm, was nur um 0,00084 mm oder $\sim {}^1/_{30000}$ zu gross ist. Man hat nun beispielsweise 20 mm: 1″ engl. $= 20:25{,}4 = 200:254 = 100:127$, kann also durch Einsetzung eines Paares von 100 und 127 Zähnen in das Räderwerk der Bank die Aufgabe lösen; die Drehbankerbauer bei uns führen dieses Paar.

Der Tastversuch für den preussischen Zoll $= 26{,}154458$ mm führt, wenn man sich mit der Annäherung 26,154 begnügen wollte, zu Folgendem:

26154 = 2.2.3.1453, zu grosse Primzahl,

weshalb gröbere Annäherungen zu prüfen sein werden. Wir erhalten:

26153 = Primzahl, untauglich,
26152 = 7.8.467, zu grosse Primzahl, also untauglich,
26155 = 5.5231, ebenfalls untauglich,
26156 = 4.13.503, zu grosse Primzahl,
26157 = 3.8719, untauglich,
26158 = 22.29.41, würde angehen, aber drei Paare fordern,
26159 = 7.37.101, " " " " " "
26160 = 10.24.109, würde angehen,
26151 = 3.8717, untauglich,
26150 = 5.10.523, zu grosse Primzahl.

Bei der drittletzten Annäherung käme:

$$\frac{20\,mm}{1''\ preuss.} = \frac{2000}{2616} = \frac{500}{654} = \frac{20.125}{30.109}$$

Dies würde zwei Paare erheischen, dabei immerhin noch einen Fehler von:

$$26{,}160000 - 26{,}154458 = + 0{,}005542\ mm,$$

oder rund ${}^1/_{4700}$ ergeben, also nur etwa ${}^1/_6$ so genau sein, als die obige Umwandlung aus dem englischen Zoll war. Das Rad von 109 Zähnen ist übrigens zu haben. Wir kommen aber unten auf die Aufgabe nochmals zurück.

Die Beispiele werden genügen, um zu zeigen, dass die Tastversuche nicht in befriedigender Weise zum Ziele führen; denn unser mühsam erreichtes Ergebniss lässt keineswegs die Ueberzeugung zu, dass nicht einfachere Lösungen möglich wären. Mit

*) Für Fälle, wie die vorliegenden, leisten Faktoren- und Primzahlentafeln sehr nützliche Dienste. Im Hinblick hierauf ist eine solche Tafel, von 0 bis 6000 gehend, in Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., aufgenommen worden.

verwandten Aufgaben, vor allem für astronomische Uhrwerke, beschäftigte man sich lebhaft im 17. Jahrhundert, und es waren gerade solche Rädertriebs-Aufgaben, die Huyghens zur Entdeckung oder Entwicklung der Kettenbrüche führten, mittelst deren man ohne Tastung Annäherungsquotienten, deren Glieder aus ganzen Zahlen bestehen, ermitteln kann. Unter anderm war es die synodische Umlaufszeit des Mondes — 29,530588 Tage —, die die Mathematiker reizte. Das hat bis in unsre Tage in Ausläufern fortgedauert*). Hierbei zeigten sich selbst die Näherungswerthe, die die Kettenbrüche lieferten, als noch zu ungenau, was u. a. Willis veranlasste, eine Rechnungsweise auszuarbeiten, vermittelst deren er einen Rädertrieb ermittelte, der nur einen Fehler von 0,08″ auf den Mondumlauf eintreten liess**). Indessen hat dieses und andere verfeinerte Verfahren ein schlichter französischer Uhrmacher, Achille Brocot, durch ein sehr viel einfacheres ersetzt, das rasch und sicher zum Ziele führt***) und hier folgen möge.

Das Brocot'sche Verfahren besteht aus zwei Theilen. Der erste ist die Benutzung einer von B. ausgerechneten Zahlentafel, die die nach der Grösse geordneten zehnstelligen Dezimalbrüche angibt, welche den echten Brüchen aus allen ein- und zweiziffrigen ganzen Zahlen entsprechen. Bei gegebenen unechten Brüchen trennt man die Dezimalen ab und verfährt mit ihnen allein, ihre Näherungswerthe später zu den abgeschnittenen Ganzen fügend. Nicht selten reicht dieser erste Theil des Brocot'schen Verfahrens schon aus. Wenden wir ihn auf die obigen Wechselräder für den preussischen Zoll an.

Für die Uebersetzungszahl haben wir: $\varphi = 26{,}154458 : 20 = 1{,}3077229$ *und finden in der Brocot'schen Tafel:*

$^4/_{13} = 0{,}307\,692\,307\,69$, *zu klein um* $0{,}000\,030\,592\,31$;
$^{29}/_{94} = 0{,}308\,510\,638\,30$, *zu gross um* $0{,}000\,787\,738\,30$.

Der erste der beiden Werthe ist sofort zu gebrauchen. Er ergibt, indem wir die abgeschnittene Zahl vor dem Komma wieder anfügen: $\varphi = 1 + {}^4/_{13} = {}^{17}/_{13}$, *wofür man vielleicht nehmen würde* $^{34}/_{26}$. *Der Fehler beträgt*

---

*) S. z. B. Schmidt, Ueber die astronomische Uhr in Prag, Berliner Verhandlungen 1868, S. 192; über eine einschlägige Arbeit von Pecqueur, der die Huyghens'sche Berechnungsweise anwandte, siehe Morin, Notions géométriques, Paris 1861, S. 272.

**) S. Principles of mechanism, London 1841, S. 223, in die 2. Aufl. 1870 nicht aufgenommen.

***) Achille Brocot, Calcul des rouages par approximation, Paris 1862.

0,000 030 592 31 : 1,307 722 90, d. i. rund $^1/_{40000}$, ist also noch weit kleiner, als der oben für den englischen Zoll ermittelte, und $8^1/_2$ mal kleiner, als derjenige der oben durch Tastversuche erzielten Annäherung; diese hatte obendrein zwei Paare erfordert, während hier nur eines nöthig wird.

Sollte das Verhältniss zwischen dem englischen Yard = 0,9143835 m und dem preuss. Fuss = 0,3138535 m durch Zahnräder wiedergegeben werden, so hätte man $\varphi = 0,9143835 : 0,3138535 = 2,9134086$. In Brocots Tafel aber finden wir $^{21}/_{23} = 0,9130434783$, was einen Fehler von $\sim {}^1/_{8000}$ ergäbe, somit $2 + {}^{21}/_{23} = {}^{67}/_{23}$ als wohl brauchbare Lösung liefert.

Der zweite Theil des Brocot'schen Verfahrens, der sich etwas kürzer wiedergeben lässt, als Brocot thut, besteht in Folgendem. Sind $\frac{z_1}{n_1}$ und $\frac{z_2}{n_2}$ die in der Tafel gefundenen Werthe, die φ zwischen sich schliessen, so hat man, wenn die Fehler f_1 und f_2 heissen:

$$\frac{z_1}{n_1} - f_1 = \frac{z_2}{n_2} + f_2 = \varphi,$$

also:

$$\frac{z_1 n_2}{n_1 n_2} - f_1 = \frac{z_2 n_1}{n_1 n_2} + f_2 = \varphi,$$

woraus:

$$\frac{z_1 n_2 - f_1 n_1 n_2}{n_1 n_2} = \frac{z_2 n_1 + f_2 n_1 n_2}{n_1 n_2} = \varphi.$$

Unten und oben links mit f_2, rechts mit f_1 vervielfachend und alsdann gliedweis addirend, erhält man:

$$\frac{z_1 n_2 f_2 - f_1 f_2 n_1 n_2 + f_1 f_2 n_1 n_2 + z_2 n_1 f_1}{f_2 n_1 n_2 + f_1 n_1 n_2} = \varphi,$$

woraus man leicht bildet:

$$\frac{z_1 \left(\frac{n_2 f_2}{n_1 f_1}\right) + z_2}{n_1 \left(\frac{n_2 f_2}{n_1 f_1}\right) + n_2} = \frac{z_1 + \left(\frac{n_1 f_1}{n_2 f_2}\right) z_2}{n_1 + n_2 \left(\frac{n_1 f_1}{n_2 f_2}\right)} = \varphi \quad . \quad . \quad (51)$$

Derjenige der eingeklammerten Faktoren, der > 1 ist, kann auf eine ganze Zahl q abgerundet werden, worauf die Glieder ganzzahlig sind. Am besten ist es sodann, die Addition der mit q behafteten Werthe Schritt für Schritt vorzunehmen, wodurch man, bis die Addition q mal geschehen ist, stets genauer werdende Lösungen erhält.

1. Beispiel. φ soll Annäherungen an die Zahl $\pi = 3,1415927$ liefern. Um Sache und Verfahren ganz deutlich zu machen, sei hier eine kleine Zahlengruppe aus der Brocot'schen Tafel herausgehoben.

Aus der Brocot'schen Tafel

z	n	Dezimalbruch	z	n	Dezimalbruch
7	50	0,1400000000	8	55	0,1454545455
8	57	0,1403508772	7	48	0,1458333333
9	64	0,1406250000	13	89	0,1460674157
10	71	0,1408450704	6	41	0,1463414634
11	78	0,1410256410	11	75	0,1466666667
12	85	0,1411764706	5	34	0,1470588235
13	92	0,1413043478	14	95	0,1473684211
14	99	0,1414141414	9	61	0,1475409836
1	7	0,1428571429	13	88	0,1477272727
14	97	0,1443298969	4	27	0,1481481481
13	90	0,1444444444	11	74	0,1486486486
12	83	0,1445783133	7	47	0,1489361702
11	76	0,1447368421	10	67	0,1492537313
10	69	0,1449275362	13	87	0,1494252874
9	62	0,1451612903	3	20	0,1500000000

Der abgetrennte Bruch 0,1415927 liegt nun zwischen:

$\frac{z_1}{n_1} = \frac{1}{7} = 0{,}1428571$, *mit dem Fehler* $f_1 = (-)\ 0{,}0012644$, *und:*

$\frac{z_2}{n_2} = \frac{14}{99} = 0{,}1414141$, *mit dem Fehler* $f_2 = (+)\ 0{,}0001786$.

Der Werth $\frac{n_2 f_2}{n_1 f_1}$ *ist* > 1, *und zwar* $= \frac{99 \,.\, 1786}{7 \,.\, 12644} = \frac{176814}{88508} \sim 2$. *Der Bruch* $\frac{z_1}{n_1} = \frac{1}{7}$ *ist daher gliedweis im Ganzen 2mal zu* $\frac{z_2}{n_2} = \frac{14}{99}$ *zu adiren. Thun wir dies 1mal, so erhalten wir:*

$$\frac{1 + 14}{7 + 99} = \frac{15}{106} = 0{,}1415094, \text{ mit dem Fehler } (+)\ 0{,}0000833,$$

und wenn 2mal:

$$\frac{2 + 14}{14 + 99} = \frac{16}{113} = 0{,}1415929, \text{ mit dem Fehler } (-)\ 0{,}0000002.$$

Fügen wir die abgetrennten 3 Ganzen wieder hinzu, so erhalten wir nach einander für π *die Annäherungswerthe:*

$$3 + {}^1/_7 = \frac{22}{7}\,{}^{*}), \text{ zu gross um } \sim {}^1/_{2500}$$

*) *Der Werth* $^{22}/_7$ *ist von Archimedes im 3. Jahrh. vor unsrer Zeitrechnung theoretisch ermittelt worden. Lange vorher schon (s. Kantor, Vorl. üb. Gesch. d. Math., S. 51) haben allerdings die Aegypter bei der Berechnung der Kreisfläche diese = derjenigen eines Quadrats gesetzt, dessen Seite* $^8/_9$ *des Kreisdurchmessers ist. Daraus berechnet sich das Verhältniss* π *zu* $4\ (^8/_9)^2 = {}^{256}/_{81} = 3{,}1604$. *Ob sie aber diese, der Ludolfischen so nahe kommende Zahl auch zur Umfangs-*

$$3 + {}^{14}/_{99} = \frac{311}{99}, \text{ zu klein um } \sim {}^{1}/_{17500}$$

$$3 + {}^{15}/_{106} = \frac{333}{106}, \text{ zu klein um } \sim {}^{1}/_{37200}$$

$$3 + {}^{16}/_{113} = \frac{355}{113}, \text{ zu gross um } \sim {}^{1}/_{15700000}$$

2. Beispiel. Cylindrische Schraubenräder sind Paare von gleichförmig steigenden Schrauben, deren Querprofile gleiche Theilung haben und verzahnungsmäfsig gestaltet sind. Bei gegebener Uebersetzungszahl und Achsenentfernung sind ihre Halbmesser und Steigungen nicht frei wählbar, sondern bestimmten Bedingungen unterworfen (s. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 556). Für ein solches Rad habe die Rechnung ergeben: Theilcylinderhalbmesser 70 mm und Steigungswinkel 48°, demnach die Steigung $2\pi \,.\, 70 \,.\, tg\, 48^0 = 219{,}9115 \,.\, 1{,}11061 = 244{,}2353573$ mm. Die Leitspindel der Drehbank, auf der man das Rad fräsen will, habe 30 mm Steigung. Demnach mufs man den Rädertrieb zwischen Drehbank- und Leitspindel übersetzen mit $244{,}2353537 : 30 = 8{,}1411784$. Für die abgetrennten Dezimalen nun finden wir oben den Näherungswerth:

$$\frac{12}{85} = 0{,}1411764706, \text{ zu klein um } \sim 0{,}000002.$$

Das ist so nahe genau, dass der Werth zu gebrauchen ist; wir erhalten mit ihm:

$$\varphi = 8 + \frac{12}{85} = \frac{680 + 12}{85} = \frac{692}{85} = \frac{4 \,.\, 173}{5 \,.\, 17} = \frac{32 \,.\, 173}{20 \,.\, 34}.$$

Wollte man die nicht ganz bequeme Zahl 173 vermeiden, so müsste man sich mit einer Annäherung an den Steigungswinkel begnügen. Dass man dies bestimmt erkennt, also von unnützen Versuchen abgehalten wird, ist einer der wichtigsten Vorzüge des Brocot'schen Verfahrens).*

---

bestimmung benutzt haben, ist noch nicht festgestellt. Die Angabe, dass die Inder lange vor Archimedes das bei ihnen gebräuchliche, so auffallend genaue Umfangsverhältniss 3972 : 1250, das gleich 3,1416 ist, gefunden hätten, hält R. Wolf, Gesch. d. Astronomie (München 1877), S. 109, für fraglich. Dass sie aber dieses Verhältniss, obwohl in späterer Zeit, 5tes Jahrh. unsrer Zeitrechnung, wirklich selbständig gefunden, und zwar auf gutem, wissenschaftlichem Wege gefunden haben, ist in Hankels Beiträgen zur Geschichte d. Mathematik (Leipzig 1874) S. 216 gezeigt. — Die andern drei Näherungswerthe für π, die wir oben fanden, waren schon früher mittelst der Huyghens'schen Kettenbrüche gefunden worden. Dies ist zu begreifen, da die Brocot'sche Rechnungsweise, ebenso wie die Huyghens'sche, für die Annäherungen die kleinsten ganzen Zahlen liefert. Aus demselben Grunde findet auch Brocot in seiner Schrift eine ganze Reihe von Rädergetriebzahlen, die in den letzten zwei Jahrhunderten für astronomische Uhrwerke mit mühevoller Arbeit ermittelt worden waren, in einfacher Verfolgung seines Verfahrens aufs neue auf.

**) Der Verein Hütte hat auf meine Anregung die Brocot'sche Schrift unter Zufügung von Erläuterungen und Beispielen deutsch herausgegeben unter dem Titel: Berechnung der Räderübersetzungen, Berlin, Ernst & Korn, 1879, 2. Aufl. Die Brocot'schen Dezimalbrüche sind in der kleinen Schrift dadurch überprüft worden, dass sie mittelst der Rechenmaschine aufs neue berechnet und auf 11 Stellen erweitert worden sind.*

§. 69

Zahngetriebe von kleinster Ausdehnung

Bei sehr starken Uebersetzungen, sei es ins Langsame oder ins Schnelle, kann man, namentlich wenn die Zerlegung von φ leicht ist, also verschiedene Lösungen zulässt, die Frage aufwerfen, bei welchem Zähnezahlverhältniss der einzelnen Paare der Trieb einen Mindestwerth an Ausdehnung annimmt. Auf jeden Fall wird man dem kleinen Rad in jedem der Paare eine recht kleine Zähnezahl geben. Bei Uhrwerken geht man nicht gern unter sechs, bei Krafträdern nicht gern unter sieben. Die Uebersetzungszahl φ im Paar spielt dann aber noch eine Rolle. Thomas Young*) hat die Aufgabe behandelt.

Der Young'sche Lehrsatz. Young suchte auf, bei welcher Uebersetzungszahl φ die Summe aller Zähne ein Mindestwerth werde, wenn alle Paare dasselbe φ haben. Dann ist bei k Paaren:

$$\varphi = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \dots\dots \varphi_k = x^k,$$

und die Zahl der Zähne im Paar $= \mathfrak{Z} + \mathfrak{Z}_1$, wobei $\mathfrak{Z}$ die erwähnte Zähnezahl des kleineren Rades im Paar sei; die Zahnsumme ist dann:

$$y = k(\mathfrak{Z} + \mathfrak{Z}_1) = k(\mathfrak{Z} + \mathfrak{Z}x) = k\mathfrak{Z}(1 + x)$$

Aus $\varphi = x^k$ folgt $k = ln\,\varphi : ln\,x$, und daher:

$$y = \frac{ln\,\varphi}{ln\,x}\,\mathfrak{Z}\,(1 + x),$$

somit

$$\frac{dy}{dx} = \frac{ln\,x\,ln\,\varphi\,\mathfrak{Z} - ln\,\varphi\,\mathfrak{Z}\,(1 + x)\,\frac{1}{x}}{(ln\,x)^2} = 0,$$

wird erfüllt, wenn man setzt:

$$ln\,x = \frac{1 + x}{x} \quad \dots\dots\dots \quad (52)$$

woraus durch Annäherung folgt:

$$\varphi_0 \text{ oder } x = 3{,}59.$$

Danach wäre es also vortheilhaft, bei grossen Uebersetzungen Paare vom Zähnezahlverhältniss zwischen 3 und 4 anzuwenden.

*) Es ist der berühmte englische Physiker; er lebte 1773 bis 1829 und betheiligte sich an den Aufgaben, die auf S. 436 erwähnt wurden.

Die Praxis folgt diesem Wink der Zahlenlehre bemerkenswerther Weise nicht. Ein Beispiel liefern die Uhren mit Sekundenzeiger, bei denen die Uebersetzung vom Minuten- auf den Sekundenzeiger 60 beträgt. Wenn die Zähnezahl $\mathfrak{z}$ des „Triebs" = 6 ist, so folgt für:

$$1 \text{ Paar } \varphi = \frac{6.60}{6} = \frac{360}{6} \quad \ldots\ldots \quad y = 366$$

$$2 \text{ Paare } \varphi = \frac{6.6.60}{6.6} = \frac{36}{6}\,\frac{60}{6} = \frac{45}{6}\cdot\frac{48}{6} \quad \ldots\ldots \quad y = 105$$

$$3 \text{ Paare } \varphi = \frac{6.6.6.60}{6.6.6} = \frac{20.27.24}{6.6.6} \quad \ldots\ldots \quad y = 89$$

$$4 \text{ Paare } \varphi = \frac{6.6.6.6.60}{6.6.6.6} = \frac{15.16.18.18}{6.6.6.6} \quad \ldots\ldots \quad y = 91$$

Die dritte Lösung würde also dem Young'schen Mindestwerth entsprechen; gewählt findet man aber soviel wie ausnahmslos die zweite, offenbar, weil man vorzieht, zwei Räderpaare statt deren drei anzuwenden.

Verbesserter Young'scher Lehrsatz. Der Verf. setzt statt der Zahnsumme das Produkt aus Zahnsumme y und Paarzahl k gleich einem Mindestwerth. Man hat dann gemäfs dem Vorausgehenden:

$$y \,.\, k = \frac{(ln\,\varphi)^2\, \mathfrak{z}\,(1+x)}{(ln\,x)^2},$$

und hieraus:

$$\frac{d\,(y\,k)}{d\,x} = \frac{(ln\,x)^2\,(ln\,\varphi)^2\,\mathfrak{z} - (ln\,\varphi)^2\,\mathfrak{z}\,(1+x)\,\dfrac{2\,ln\,x}{x}}{(ln\,x)^4} = 0,$$

woraus folgt:

$$ln\,x = \frac{2\,(1+x)}{x} \quad \ldots\ldots \quad (53)$$

Hieraus ergibt sich durch Annäherung für φ_0 oder x:

$$x = 9{,}19.$$

Das heisst, dass für die grossen Uebersetzungen die günstigsten Uebersetzungszahlen in den einzelnen Paaren um 9 herum, sagen wir zwischen 8 und 10, liegen, jedenfalls für die kleinste Ausdehnung der Triebe die Werthe um 3 und 4 nicht die günstigsten sind. Dies bestätigt auch die beim vorigen Beispiel erwähnte Uebung. Dort ist $y \,.\, k$

bei 2 Paaren = 105.2 = 210
„ 3 „ = 89.3 = 267

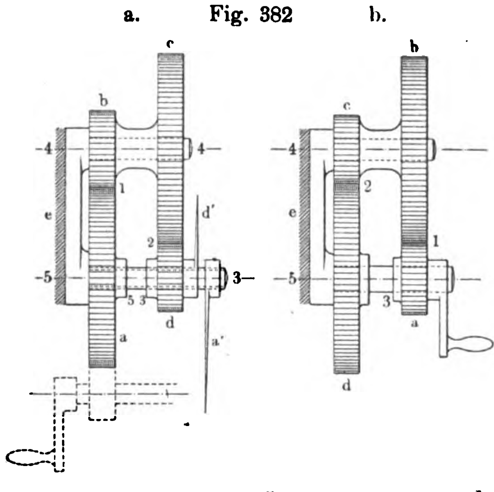
Anderes Beispiel. Wählt man für eine Uebersetzung von etwa 1:1000 gemäfs dem Young'schen Satz φ_0 in jedem Paar $= {}^1/_4$, so erhält man $\varphi = {}^1/_4 \cdot {}^1/_4 \cdot {}^1/_4 \cdot {}^1/_4 \cdot {}^1/_4 = {}^1/_{1024}$, und wenn man als kleinste Zähnezahl $\mathfrak{Z}$ im Paar die Zahl 7 wählt, die Zahnsumme $y = 5\,.(7 + 28) = 175$, dazu den Werth $y\,.\,k = 5\,.\,175 = 875$. Nimmt man dagegen gemäfs unsrer Ermittlung $\varphi_0 = {}^1/_{10}$ an, so hat man $\varphi = {}^1/_{10} \cdot {}^1/_{10} \cdot {}^1/_{10} = {}^1/_{1000}$, also nahezu soviel wie vorhin, und bei $\mathfrak{Z} = 7$ die Zahnsumme $y = 3\,(7 + 70) = 231$, dazu den Werth $y\,.\,k = 3\,.\,231 = 693$. Das ist beträchtlich weniger als vorhin. Fraglos ist aber auch der 3paarige Trieb für die Ausführung weit willkommener, als der 5paarige. Die praktische Uebung bei Windwerken und dergleichen spricht ebenfalls deutlich für die Werthe von φ_0 um 8 und 10 herum.

§. 70

Der rückkehrende Rädertrieb, Umlaufräder

Wenn in einem zusammengesetzten Räderwerk das letzte Rad so gelagert ist, dass es mit dem ersten konaxial wird, so entsteht ein viel verwendbares Treibwerk, der „rückkehrende Rädertrieb" *). Fig. 382 zeigt denselben, wenn er aus zwei Stirnräderpaaren gebildet ist. Die Rückkehrbarkeit setzt voraus, dass die Zentralen 3.4 und 4.5 der beiden Räderpaare ab und cd gleich sind. Die kinematische Kette ist dann wie folgt zusammengesetzt:

a. Fig. 382 b.



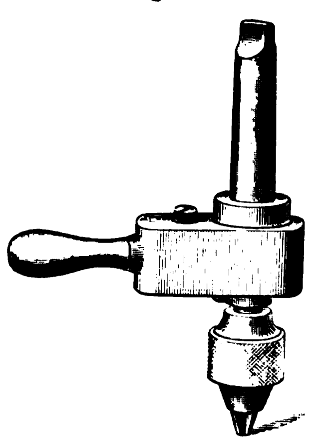
$$\begin{array}{cccccccccc} & & & 5 & a & 1 & b & & & \\ C^{+}\ldots\|\ldots & C^{+}_{=}\ldots & \{ & C^{-}\ldots & |\ldots & (C_3)\ldots & |\ldots & \} & \ldots C^{-}_{=} & (C_{2_2} C''_3) \\ & & & C^{-}\ldots & |\ldots & (C_3)\ldots & |\ldots & & & \\ 4 & e & & 3 & d & 2 & c & & 4 & \end{array}$$

Die Glieder e, Steg, und bc, die beiden „äusseren" Räder. sind dreielementig. Die vieltausendfältig im Gebrauch befindliche

*) S. Band I, S. 579.

Form des Triebes in den Uhren, die in Fig. 382 a angedeutet ist, hat kinematisch wenig Bemerkenswerthes, da die beiden Zeiger sich nicht anders, trotz dem Zusammenfallen ihrer Achsen, bewegen, als sie auch bei getrennten Achsen thun würden. Sehr gebräuchlich ist der Trieb in den Metalldrehbänken in der Form unter b, bei der er Uebersetzung ins Langsame im Verhältniss $\frac{a}{b}\,\frac{c}{d}$ bewirkt. Hübsch ist die ziemlich neue Verwendung als Bohrertrieb, die Figur 383 in einer äusseren Ansicht vor Augen führt *). Hier ist Uebersetzung ins Schnelle im Verhältniss $\frac{a}{b}\,\frac{c}{d}$ angewandt, indem a zum treibenden Glied gemacht ist, der Trieb Fig. a also lautet $(C_{z_2}\,C_3'')\frac{e}{a}$. Der aus Stahl ausgeführte Hülfstrieb, bei dem die vier Räder in den kapselförmig gestalteten Steg eingeschlossen sind, wird an die Spindel einer gewöhnlichen Bohrmaschine angesetzt und treibt mit dem zu ihr konaxialen Rade d einen dünnen Bohrer, dem sie vermöge der Uebersetzung des Werkchens die geeignete grosse Winkelschnelle ertheilt. Der Arbeiter verhindert mit der Hand den Steg e, sich zu drehen, bewirkt also „Stellung“ der Kette auf e **).

Fig. 383



Eine bemerkenswerthe Verwendung des rückkehrenden Rädertriebs ist die in Fig. 384 (a. f. S.) versinnlichte Benutzung als „laufendes Zählwerk“. Hier ist, bei abermaliger Stellung der Kette auf e, aber unter Treibung des Mechanismus durch das Glied $b\,c$, das eine der „inneren“ Räder, a, mit einem gleichförmig getheilten Zifferring, das andere „innere“ Rad, b, mit einem Zeiger ausgerüstet. Drehen sich nun die fest verbundenen „äusseren“ Räder b und c $n$mal, so dreht sich der Zeiger gegen

*) S. American Machinist 1897, August, S. 643.

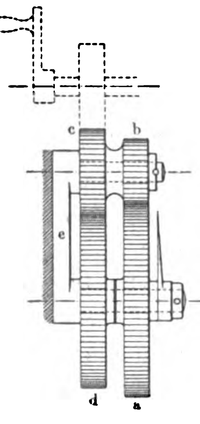
**) Dieser Sharpe'sche Bohrtrieb hat sich rasch verbreitet und gehört bereits zu den oben S. 377 besprochenen, so nützlichen, die Arbeit verkürzenden Hülfsmitteln. Geführt wird er von Schuchardt & Schütte in Berlin unter dem Namen Duplex.

das Rad a mit der Umlaufzahl $n_1 = n\frac{c}{d} - n\frac{b}{a}$, sodass die Uebersetzung zwischen Zeiger und Zifferring ist:

$$\varphi = \frac{n_1}{n} = \frac{ac - bd}{ad} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (54)$$

wofern wieder, wie bisher, a, b, c und d die Zähnezahlen der Räder sind. Der leichten Aufgabe, bei gegebenen Zähnezahlen den Werth φ zu bestimmen, steht wieder (vergl. S. 435) die schwierigere gegenüber, die vier Zahlen für ein gegebenes φ zu ermitteln.

Fig. 384



Da die Bedingung gestellt ist, dass die vier Zähnezahlen ganze Zahlen sind, ist die Aufgabe eine solche der unbestimmten Analytik. Ihre Behandlung sei in Kürze dargelegt.

Von den vier Werthen kann man die im Nenner stehenden a und d wählen, worauf man hat

$$ac - bd = (ad\varphi)$$

oder

$$Nx - N'y = K,$$

worin N und N' die Werthe a und d, und x und y die gesuchten Werthe c und b bedeuten. Löst man nun den Quotienten $\frac{N}{N'}$ in einen Kettenbruch auf, dessen letzter Näherungswerth $= \frac{M}{M'}$ sei, so hat man gemäfs den Eigenschaften der Kettenbrüche:

$$\frac{N}{N'} - \frac{M}{M'} \left(\text{oder } \frac{NM' - MN'}{N'M'}\right) = \mp \frac{1}{M'N'},$$

woraus folgt:

$$NM' - MN' = \mp 1.$$

Diese Gleichung bringen wir auf die obige Form durch Vervielfachung ihrer Glieder mit $\pm K$ und haben:

$$N(\pm KM') - N'(\pm KM) = K.$$

Hierzu links mNN' ab- und zuzählend, erhält man:

$$N(mN' \pm KM') - N'(mN \pm KM) = K \quad . \quad . \quad (55)$$

Diese Gleichung ist auflösend, indem die beiden Klammern die Werthe für x und y für beliebige Werthe von m enthalten.

Beispiel. Ein laufendes Zählwerk für grosse Umlaufzahlen, und zwar für $\varphi = {}^1/_{1000}$ zu berechnen. Hier ist gefordert:

$$\frac{a.x - d.y}{a\,d} = \frac{1}{1000} = \frac{1}{2.2.2.5.5.5}.$$

Die kleinsten relativen Primzahlen, die den Nenner $a\,d$ zum Produkt haben, sind 8 und 125. Wir nehmen diese vorläufig an und wählen $a = 125$, $d = 8$, und haben dann:

$$125\,x - 8\,y = 1.$$

Wir bilden aus 125 und 8 einen Kettenbruch und erhalten:

$$\frac{125}{8} = 15 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{2}}}}$$

, woraus die Näherungswerthe

$$\frac{15}{1}, \quad \frac{16}{1}, \quad \frac{16+15}{1+1} = \frac{31}{2}, \quad \frac{31+16}{2+1} = \frac{47}{3}, \quad \frac{47.2+31}{3.2+2} = \frac{125}{8}$$

Mithin ist hier:

$$\frac{N}{N'} = \frac{125}{8} \quad \text{und} \quad \frac{M}{M'} = \frac{47}{3},$$

und daraus vorerst:

$$N M' - N' M = 125.3 - 8.47 = 375 - 376 = -1,$$

oder, um $K = +1$ zu erhalten:

$$125\,(-3) - 8\,(-47) = 1.$$

Nunmehr m einführend, erhält man:

$$125\,\underbrace{(8\,m - 3)}_{x} - 8\,\underbrace{(125\,m - 47)}_{y} = 1.$$

Diese auflösende Gleichung gibt bei:

$m =$	3	2	1	0	− 1	− 2	− 3
$x\ (= c) =$	21	13	5	− 3	− 11	− 19	− 27
$y\ (= b) =$	328	203	78	− 47	− 172	− 297	− 422

Hiervon sind die Werthe für $m = 0$ schon brauchbar, da sie dasselbe Vorzeichen haben und recht klein sind. Sie liefern:

$$\frac{(-125.3) - 8\,(-47)}{125.8} = \frac{-375 + 376}{1000} = \frac{1}{1000}$$

wie gefordert. Die beiden Minuszeichen deuteten an, dass wir Hohlradeingriff zu machen hätten, was wir aber nicht ausführen wollen, und uns lieber gefallen lassen wollen, dass kommt

$$\frac{125.3 - 8.47}{125.8} = -\frac{1}{1000}.$$

Die Zahlen 8 und 3 sind als Zähnezahlen unbequem klein. Wir vervielfachen daher unten und oben mit 15 und erhalten:

$$\frac{125.45 - 120.47}{125.120} = -\frac{1}{1000},$$

wonach wir schliesslich zu nehmen haben:

$$a = 125, \quad b = 47, \quad c = 45, \quad d = 120.$$

Die Zahnsummen der Paare sind: $a + b = 172$, $c + d = 165$, *also ziemlich nahe gleich, weshalb die Theilungen der Räder wenig verschieden ausfallen.*

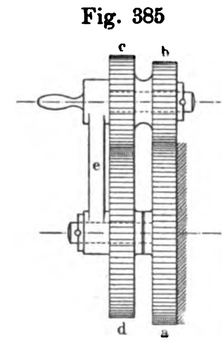
Manche derartige Zählwerke lassen sich auch in sehr einfacher Weise bilden. Macht man $b = c = 1$, *was der Wurmschraube entspricht, so hat man:*

$$\varphi = \frac{1}{a} - \frac{1}{d} = \frac{d - a}{a\,d},$$

und darf nun, trotz Eingriff des Wurmes in beide Räder, diese ein wenig verschieden machen, z. B. $d = 101$, $a = 100$ *wählen, worauf* $\varphi = (101 - 100) : 10100 = {}^1/_{10100}$ *wird. Beim Woltmann'schen Flügel findet man dieses laufende Zählwerk benutzt, unter Eintheilung des Zifferblattes in 101 Theile, deren jeder somit 100 Umdrehungen des Wurmes entspricht.*

Umlaufräder. Macht man in einem rückkehrenden Räderwerk statt des Steges e eines der getrennten Räder a oder d zum Aufstellungsglied, so erhält man einen „Umlaufrädertrieb“, vielfach auch „Differenzialrädertrieb“ genannt. Ist a das Aufstellungsglied, siehe Fig. 385, und n die Rundenzahl des als treibendes Glied benutzten Steges e, so ist die Rundenzahl des zweiten „Mittelrades“ d:

Fig. 385



$$n_1 = n\left(1 - \frac{a}{b}\,\frac{c}{d}\right) = n\,(1 - \zeta) \qquad (56)$$

wenn ζ die Uebersetzungszahl $\frac{a}{b}\,\frac{c}{d}$ des rückkehrenden Rädertriebes ist. Die Umlaufrädertriebe sind sehr formenreich; ein Ueberblick über dieselben ist im I. Bande, S. 410 gegeben. Auch bei ihnen dient die unbestimmte Analytik zur Auffindung der Zähnezahlen bei gegebenem φ, aus welchem Grunde vorhin auf deren Verfahrungsweise eingegangen wurde. Es ist Aufgabe der angewandten Kinematik, auf die sich hier darbietenden zahlreichen Einzelfälle einzugehen; die Anwendungen sind sehr mannigfaltig. An der berühmten Strafsburger Uhr hat Schwilgué die Umlaufräder vielfach benutzt.

§. 71

Geometrie der Zahnräder

In den vorstehenden Ausführungen sind dem Anschein nach Beziehungen der Kinematik zur Geometrie nicht vorgekommen; jedenfalls haben die arithmetischen Fragen durchaus überwogen. Die Geometrie lag dabei in den Polbahnen oder den Axoiden der Räder; sie findet aber die reichste Anwendung in den „Verzahnungen", d. i. in der Formung der Flanken der Radzähne, weshalb wir auf sie jetzt unsre Aufmerksamkeit richten wollen.

Die Verzahnungen der Zahnräder sind das Mittel, die gegenseitigen Rollungen von deren Polbahnen zu erzwingen. Seit dritthalb Jahrhunderten haben die Geometer und Mechaniker sich mit dieser kinematischen Aufgabe beschäftigt*); jetzt ist sie den Maschineningenieuren mit berechtigtem Vertrauen überlassen. Diese sind ihrerseits in den letzten Jahrzehnten mit steigender Sorgfalt auf sie eingegangen und dabei immer einmüthiger in der Ueberzeugung geworden, dass die Annäherungen an die streng kinematischen Formen, die bei der Herstellung mit Handarbeit erzielt werden, nicht mehr ausreichen, dass vielmehr die Benutzung sowohl der Theilmaschine, als der Räderschneidmaschine unerlässlich sei oder werden müsse. Grosse Fortschritte hat man in dieser Richtung gemacht; der amerikanische Maschinenbau ist darin am eifrigsten vorgegangen. Es ist vorauszusehen, dass bald allgemein im besseren Maschinenbau das „geschnittene" Rad die Regel bilden wird, da der ungenaue Zahneingriff zu grosse Nachtheile mit sich bringt. In dieser theoretischen Bewegung haben sich die Bestrebungen nach guter Form der Zähne allmählich mit denen der guten Herstellung verschmolzen. Diese beiden Seiten der Frage trennte man früher theoretisch voneinander. Der Eine zeichnete, der Andere führte aus, anfangs von Hand und dann auf Maschinen. Bald entwickelte der Eine Verfahrungsweisen und Vorrichtungen zum genaueren Aufreissen der Kurven und nun der Andere Maschinen, um die ihm übergebenen Kurven genau zu schneiden, worin England und Frankreich den Vortritt nahmen. Dazwischen entwickelte sich, für eine Zeitlang

*) S. Band I, S. 145 ff.

als erfolgreicher Fortschritt anzusehen, die Räderformmaschine in England und von England aus. Endlich und neuerdings vereinigte man sich zu dem glücklichen Gedanken, die Schneidmaschine gleich so zu befähigen, dass sie ohne Zeichnung schneidet, nämlich zwangläufig die richtigen Zahnformen hervorbringt; die Führung in dieser Richtung hat jetzt der amerikanische Maschinenbau. Um die Schwierigkeiten der Aufgabe zu verstehen, hat man sich vor Augen zu halten,

> dass die Zahnkurven erstens so beschaffen sein müssen, dass ihre Normalen nicht viel von der Tangente an die sich berührenden Polbahnen der Räder abweichen, und dass sie zweitens so beschaffen sein sollen, dass ihre Berührungsnormalen stets durch den Berührungspunkt oder Pol der Polbahnen der Räder gehen.

Satzräder. Die Schwierigkeiten der vorstehenden Aufgabe hat man, und zwar schon lange vor der Zeit des letzterwähnten Maschinenschnittes, noch gesteigert, indem man den Weg verfolgte, Zahnräder von gleicher Theilung, insbesondere Stirnräder, so zu verzahnen, dass sie alle richtig zusammen arbeiten können, oder einen „Satz“ von Rädern bilden, den man nach Bedarf beliebig vervollständigen kann. Das gilt z. B. von den Wechselrädern der Drehbänke und verwandten Maschinen, war und ist aber auch für die Modellkammer der bloss im Guss herzustellenden Räder schon von hohem Werth. Vor einem halben Jahrhundert glaubten Viele bei uns, dass nur die sogenannte Evolventenverzahnung geeignet sei, Satzräder zu liefern; die Vorliebe, die man ihr deshalb zuwandte, gieng so weit, dass man mehrere entschiedene, grosse Mängel derselben übersah, wovon unten mehr. Dass sich mit Radlinienprofilen ebenfalls sehr gut Satzräder bilden lassen, wurde dann gezeigt*), war aber schon Jahre vorher, 1841, in England durch Rob. Willis gezeigt worden**). Auch gab Willis zwei Satzräderverzahnungen mit trefflicher Begründung an, bei denen kurze Kreisbogen als Zahnprofile dienten. Sie können, wie einzusehen, der obigen Bedingung nicht genau entsprechen, nähern aber Radlinien- und Evolventenverzahnungen

*) S. Moll u. Reuleaux, Konstruktionslehre f. d. Maschinenbau, Braunschweig 1853, S. 304.

**) R. Willis, Principles of mechanism, London u. Cambridge 1841, S. 122 ff.; 2. Aufl., S. 130.

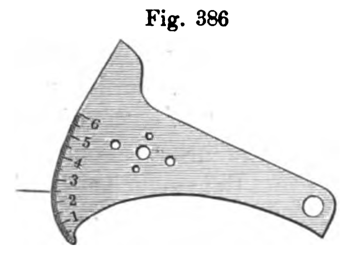


sehr gut an, oder mit andern Worten: ermittelt man zu cykloidischen Satzradverzahnungen die zur Annäherung geeigneten Krümmungskreise, so erhält man die von Willis geradeswegs ermittelten Kreisbogen *). Willis gab auch alsbald ein einfaches Hülfsgeräth, von ihm Odontograph genannt, an, das die Auftragung der Profilbogen erleichterte.

Die Willis'schen beiden Kreisverzahnungen wurden im englischen Sprachgebiet viel, bei uns sehr wenig beachtet, obwohl Salzenberg **) die Willis'sche Abhandlung vollständig und klar wiedergab.

Willis stand mit seinem sehr brauchbaren Verfahren, wie viele Andere, auf der erwähnten ersten Stufe: Zeichnen und das Gezeichnete dem Ausführer übergeben, aber an der oberen Grenze dieser Stufe, indem er die Genauigkeit des Zeichnens durch Verwendung von gut ermittelten Kreisbogen sicherte. Dieser Gedanke des Gut-Zeichnens blieb herrschend, fast allein herrschend.

Fig. 386



Er lag auch dem Robinson'schen Verfahren zu Grunde, das auf der Weltausstellung in Philadelphia 1876 berechtigte Anerkennung fand ***). Es ist eine weitere Ausbildung des Willis'schen. Robinsons „Lehr-Odontograph“, Fig. 386, ist eine sauber gearbeitete, metallene Lehre mit zwei gleichzeitig zu brauchenden Kurvenrändern. Wird der eine derselben passend an Tangenten gelegt, die an gewisse Punkte des Theilkreises gezogen sind, so gilt die andere Kurve

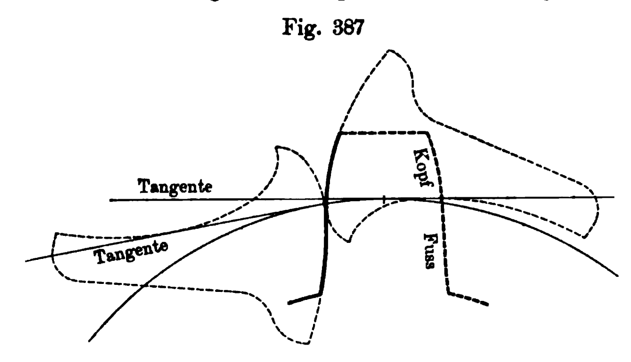
*) Gewissenhaft führt Willis an, dass Euler in einer Abhandlung über die Zahnräder die von ihm verwendeten Grundsätze bereits ausgesprochen, insbesondere auch gesagt habe, dass wahrscheinlich kleine Stücke der Krümmungskreise der gefundenen Kurven für die Praxis ausreichen würden; doch sei der Stil so dunkel gewesen, dass bis dahin die Anregung ohne Folge geblieben sei. Er meint übrigens, dass die Maschinenpraktiker zu Eulers Zeit (vor 1783) jede Verzahnungsweise, die auf geometrische Betrachtungen gegründet wäre, für nutzlose Verfeinerung, die Theoretiker aber die Annäherung der genauen Kurve durch den Kreis für viel zu grob gehalten haben würden.

**) Vorträge über Maschinenbau, im Auftrage des Finanzministerii bearbeitet, Berlin 1842, S. 107.

***) S. W. Robinson, Professor für Maschinen-Ingenieurwesen an der *Illinois Industrial University*, in deren Lehrwerkstätte auch der „Templet Odontograph“ gefertigt ward, der jetzt noch in Vieler Händen ist.

als Lehre für Kopf- und Fussflanke, s. Fig. 387. Lehre und Hülfstafel sind in sauber gearbeitetem Besteck untergebracht. Der Verfasser veranlasste damals seinen Assistenten, Herrn Ingenieur Kirchner, das Geräth genau zu prüfen; dabei ergab sich, dass

Fig. 387



dasselbe ausserordentlich genaue Annäherungen an die streng cykloidischen Formen lieferte.

Die „Kreisverzahnungen“ *), d. h. diejenigen, die die cyklischen Kurvenabschnitte durch Kreisbogen ersetzen, wurden vom Verfasser ausführlich behandelt unter der erwähnten, noch vielfach gültigen Annahme, dass für gewöhnliche Ausführungen die Annäherung genüge. Die Annäherungsfehler und Genauigkeitsmängel macht man einigermafsen dadurch unschädlich, dass man Spielräume im Eingriff gestattet.

Die kommende und schon gekommene Räderschneidmaschine macht diesem unvollkommenen Verfahren ein Ende. Sie liefert, wenn mit geeigneten Einrichtungen ausgerüstet, die Möglichkeit, die Verzahnungen spielfrei herzustellen, und das ist das Ziel, dem der heutige verfeinerte Maschinenbau zusteuert, und das er zum Theil schon erreicht hat; Ausnahmen werden freilich wohl noch längere Zeit bestehen bleiben.

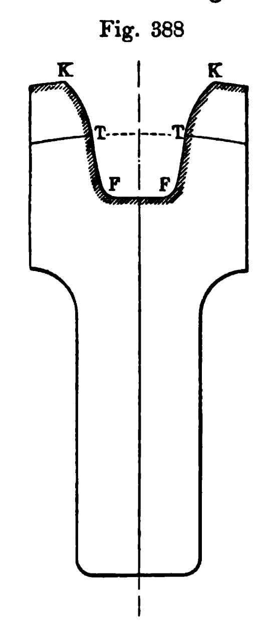
Der spielfreie Eingriff setzt nun aber voraus, dass die Zahnformen möglichst genau richtig seien. Mehrere Verfahren hierfür sind vorzugsweise im Gebrauch.

1. Lehren für Fräsen. Es wird vorausgesetzt, dass die Zahnlücken gefräst werden sollen, und zwar zunächst am Stirnrad, sei es aus dem vollen Ring des Radblockes oder Rad-

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 518 ff.; auch Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., S. 750 ff.

zaines*), sei es aus dem schon vorgezahnten Ring. Eine Satzräderverzahnung nach cyklischen Kurven sei zu Grunde gelegt, und dabei vorausgesetzt, dass die Fräse nur in der Achsenrichtung vorzuschreiten habe. Es werden Fräsen hergestellt, deren „Schnitte" möglichst genau den cyklischen Profilkurven entsprechen. Hier betritt man die oben erwähnte, nächst höhere Stufe des Verfahrens. Die Lehren zu den Fräskörpern werden nämlich auf einer besonderen Maschine vorgerissen, in der ein Reifsstift zwangläufig die z. B. erforderlichen Cykloidenbogen KT und TF, Fig. 388, beschreibt. Bei Whitworth (Manchester) werden noch die cyklischen Kurven in bedeutend vergrössertem Mafsstab vom Zeichner vorgezeichnet, dann in Metall geschnitten und mittelst Storchschnabels maschinenmäfsig verkleinert, ähnlich bei Fröhlich (Paris). Auf neueren Maschinen, bei Browne & Sharpe (Providence R. J.) und Pratt & Whitney (Hartford Conn.), bei denen noch ungleich schärfer auf spielfreien Eingriff hingearbeitet wird, führt dagegen kinematischer Zwanglauf den Vorreisser streng cykloidisch**), sodass die vor-

Fig. 388



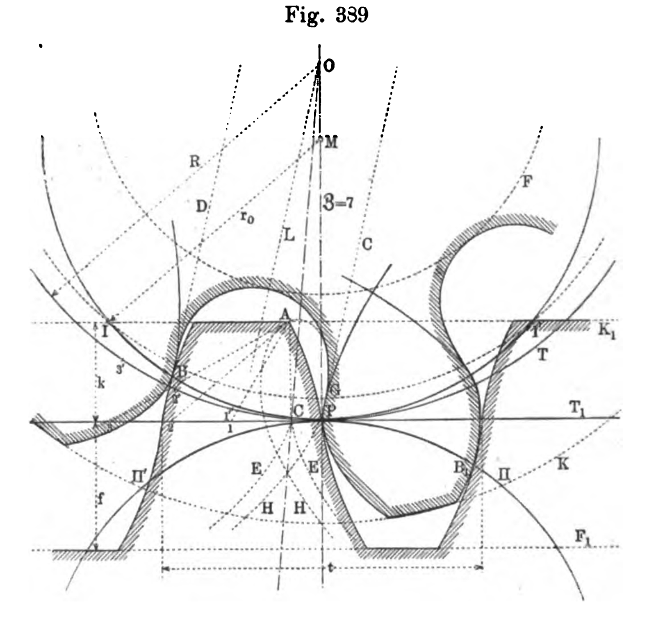
*) Es sei hiermit der Vorschlag gemacht, den zum Schneiden vorgearbeiteten, abgedrehten Radkörper den „Radblock" oder den „Radzain" zu nennen. Eine kurze Bezeichnung für das Stück ist jedenfalls sehr erwünscht. Im Münz- oder Eisengewerbe bedeutet Zain einen vorbereiteten, auf Mafs gebrachten Stab; die Uebertragung auf einen im Kreis gebogenen Stab möchte vielleicht angehen, um für das englische, eigentlich amerikanische „*blank*" rechtzeitig bei uns eingeführt zu werden, da wir doch nun zum Räderschnitt übergehen müssen. „Zain" (aus gutem Althochdeutsch) wird im Französischen durch *lingot*, im Englischen durch *ingot* wiedergegeben. Letzteres ist zweifellos (s. Chambers, etymological engl. Dictionary) aus dem deutschen „Einguss" gebildet, ersteres wieder aus dem Englischen ins Französische übernommen (s. Scheler, Dictionnaire d'étymologie française). Der „Block", wie unsre Hüttenleute für *ingot* sagen, hat ebenfalls die für fernere Bearbeitung vorbereitete oder vorbereitende Form, sodass man dieses Wort auch nehmen könnte; ein Hinderniss möchte aber der Umstand bilden, dass man die armlosen Zahnräder Blockräder nennt.

**) S. des Verf. „Mittheilungen über die amerikan. Masch.-Industrie" Berl. Verhandlungen 1894, wo die Maschine von P. & W. dargestellt ist; die Maschine von B. & S. ist noch nicht veröffentlicht.

ausgehende Thätigkeit des Zeichners wegfällt. Der Fräskörper wird nicht drehrund, sondern wellig, mit sogenannter Hinterdrehung für Nachschliffigkeit (s. unten) hergestellt*). Das Einschneiden der „Schnitte“ in den Fräskörper geschieht auf besonderer Maschine. Mit den ausgezeichneten Fräsen, die aus dieser hervorgehen, und bei denen die Lückenweite *TT* nur um ein Unmerkliches grösser gemacht ist, als die Zahndicke, werden die Zahnlücken in den Radzain eingeschnitten. Eine schöne, selbstthätige und einen spielfreien Eingriff liefernde Schneidmaschine hat auch Sellers geliefert.

Dieses Verfahren ist gut und verbreitet, hat aber seine Schwächen. Eine kleinere ist, dass für die wenigzähnigen Räder die Fräsprofile nahe dem Radboden noch vom Zeichner nachgezogen werden müssen, wie aus Fig. 389 erkennbar ist. Eine

Fig. 389



grosse Schwäche ist die, dass, streng genommen, für jede Zähnezahl eines Satzes eine andere Fräse erforderlich wäre. Willis empfiehlt, für seine Odontograph-Verzahnung 23 verschiedene Fräsen anzuwenden, und zwar für folgende Zähnezahlen:

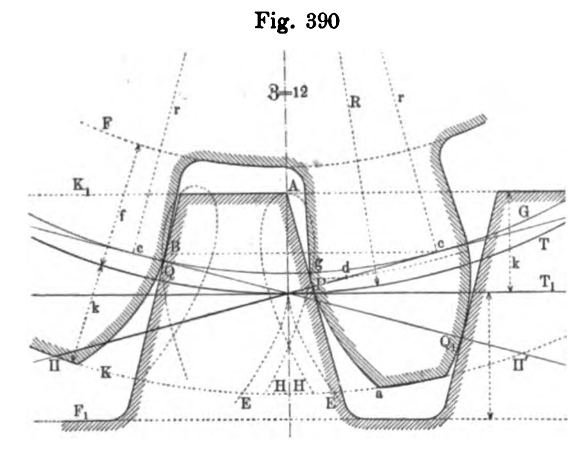
*) Der Verf. fand bei Pratt & Whitney eine Radfräse in Thätigkeit, die bis auf $^1/_6$ der Fräszahndicke nachgeschliffen war.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
∞	300	150	100	76	60	50	43	38	34	30	27

13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
25	23	21	20	19	17	16	15	14	13	12

wozu für uns, die wir bis zur Zähnezahl 7 herabgehen*), noch weitere fünf Nummern kämen. Wenige verfuhren bisher so genau. Man behalf sich so, dass man für die höheren Zähnezahlen für je drei, dann fünf Zähnezahlen dieselbe Fräse benutzte, mit andern Worten also, wieder eine Annäherung eintreten liess, wobei man für die Praxis, wo immer thunlich, diejenigen Zähnezahlen vermied, die nur annähernd zur Fräse passen. Die Forderung des spielfreien Ganges ist aber unvereinbar mit diesen Vernachlässigungen. Daher sehen wir denn bei den Fabrikanten Gould & Eberhardt in Newark**) die Willis'sche Fräsenreihe nicht nur innegehalten, sondern noch um die Fräse für das 18er Rad, also auf 24, vermehrt. — Auch für die sogen. Evolventenverzahnung benutzt man das geschilderte Verfahren, kommt aber dabei mit dem dieser Verzahnung anhaftenden Fehler des „falschen Eingriffs" der wenigzähnigen Räder in einen nur unvollkommen lösbaren Widerspruch. Figur 390 stellt den Eingriff zwischen Zahnstange und 12er Trieb dar. Dasjenige Stück der Zahnstangenflanke, das über den Punkt g hinausgeht, greift in den radial begrenzten Fusstheil des Triebzahnes ein, am stärksten mit seinem Endpunkt A (Ursache ist die Rollung der beschreibenden Geraden über den Punkt P, Fig. 45, S. 52, hinaus). Die sogenannte Kopfbahn HAH schneidet aber nicht bloss bis g, sondern auch noch darüber hinaus in das richtige und nöthige

Fig. 390



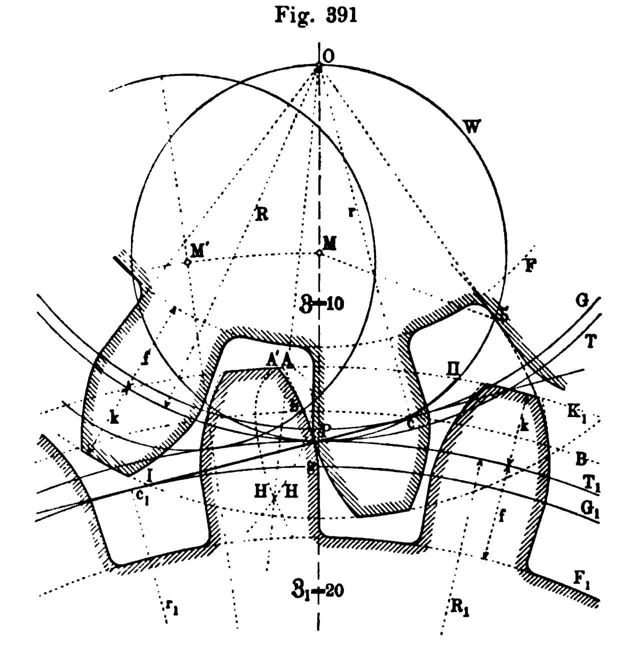
*) S. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 527, sowie Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl., S. 749.

**) Staat Neu Jersey, nahe Neuyork.

evolventische Kopfprofil gPa ein. Die Zahnköpfe der Zahnstange würden somit den spielfreien Eingriff nicht gestatten; lässt man aber den üblichen Spielraum zu, so bewirken sie eine ungleichförmige Bewegungsübertragung.

Unter den Mitteln, die Verzahnung von diesem Uebel, das Viele bemerkt haben*), zu befreien, möchte das vom Verfasser angegebene das geeignetste sein. Es besteht darin, s. Fig. 391, vom Endpunkt b des evolventischen Profiles an den Zahnkopf nach einer gemeinen Epi- bezw. Hypocykloide bA' zu profiliren, beschrieben von einem mitrollenden Kreise W, der zum Durchmesser den

Fig. 391



Halbmesser des Triebes hat. Dieser Kreis beschreibt nämlich mit seinen Umfangspunkten im Trieb die radialen Profile der Fussflanken. Damit ist das Uebel gehoben, freilich aber auch die Satzrad-Eigenschaft für alle niederen Zähnezahlen (bis zu 28 hinauf) aufgehoben, weil das „verbesserte“ Flankenstück vom Triebhalbmesser abhängt. Für die Zähnezahlen unter 12 wird der „falsche Eingriff“ nur schlimmer, auch die Eingriffs-

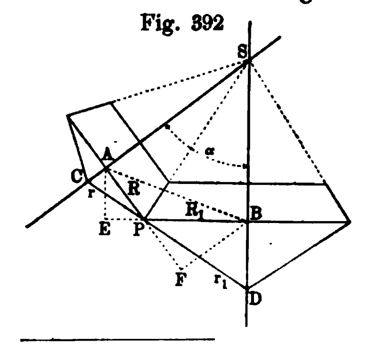
*) Auch Brown & Sharpe in ihrem höchst lehrreichen: Practical Treatise on Gearing, Providence 1886.

dauer ungünstig klein. Dies sind die Umstände, die die Evolventenverzahnung nur für die höheren Zähnezahlen empfehlenswerth erscheinen lassen, wenn es sich um Satzräder handelt, also auch die Herstellung der kostbaren genauen Fräsenprofile als nicht rathsam erweisen. Diesen Schwierigkeiten sind indessen Gould & Eberhardt und andere Fabrikanten auf Grund der, weiter unten bei der Bilgram'schen Maschine zu berührenden Eigenthümlichkeiten ausgewichen.

2. Verfahren von Warner & Swasey. Dieses beruht darauf, dass die Profile der Zähne eines als Satzrad verzahnten Rades, wenn sein Theilkreis auf seines Gleichen rollt, gegen diesen Hüllkurven beschreiben, die wiederum die Eigenschaft von Satzrad-Zahnprofilen besitzen *). Diese längst bekannte, aber fast ganz ungenutzt gebliebene Eigenschaft der Umhüllungsbewegung haben Warner & Swasey (Cleveland, Ohio) zu ihrer Satzräderschneidmaschine benutzt. Sie wählten als das satzgemäfs verzahnte Rad die Zahnstange. Unsre Fig. 389 zeigt deren Satzradprofile, bestehend aus zwei gleichen Orthocykloidenbogen. Die Fräse wurde als drehrunde Zahnstange mit Fräszähnen gestaltet. Wie nunmehr die Erfinder sie der Achse nach in zwei gleiche Theile theilten und je einen derselben stets wieder in eine Anfangsstellung zurückschoben, wurde oben, S. 226 ff., an den Figuren 171 und 172 bereits gezeigt. Bei dieser Maschine bedarf es bloss einer einzigen — etwas zusammengesetzten — Fräse für jeden Rädersatz. Ihre Erfindung ist eine hohe Leistung der mit vollem Verständniss angewandten Kinematik.

Einzelräder-Verzahnungen. Für manche Zwecke haben die Satzräderverzahnungen weniger Bedeutung. So namentlich für die Kegelräder, da bei diesen zu der Bedingung von der gleichen Theilung noch die andere hinzukommen müsste, dass auch die Länge der Kegelkante SP, Fig. 392, für den ganzen Rädersatz dieselbe sein müsste, was höchst selten angeht. So bleibt man denn hier bei der „Einzelräderverzahnung". Dennoch hat man die Art und Weise

Fig. 392



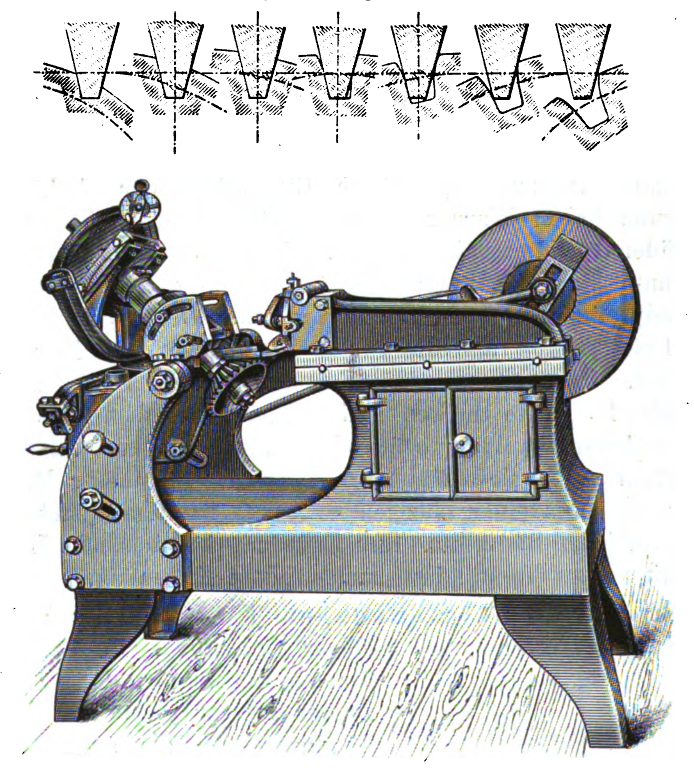
*) S. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 524.

der Satzräderverzahnung aus einem wichtigen Grunde auf die Kegelräder angewandt, unter Verzicht auf die Zusammenwirkung der Räder in einem „Satz“. Der Grund ist die Einfachheit der Flankenform, die der Zahnstange zukommt.

3. Die Bilgram'sche Kegelradhobelmaschine, die in Fig. 393 dargestellt ist, enthält seine sehr geschickte Verwerthung. Bei der Evolventenverzahnung für Stirnräder erhält die Zahn-

Fig. 393 Bilgrams Kegelradhobelmaschine





stange, wegen des festen Verhältnisses zwischen Theil- und Grundkreis, geradlinig begrenzte Zahnflanken (s. Fig. 390), und das gilt auch mit grosser Annäherung für das Planrad, Kegelrad mit 180° Spitzenwinkel*). Zu Annäherungen ist man freilich auch hier

*) Genau genommen gilt für das Planrad als Zahnprofil die S-förmige Kurve G, die wir in Fig. 84 b betrachtet haben; das Mitteltheil derselben kommt einem grössten Kreise, die Fläche seiner Strahlen aus S also einer Ebene ausserordentlich nahe.

genöthigt. Sie entstehen, weil die Hülfskegel für die Rollung auf dem Plankegel nicht für alle Grössen der Grundkegel ausgeführt werden können, ohne ein Uebermafs von Theilen zu erfordern. Den Uebelstand des „falschen Eingriffs“ kann man dadurch vermindern, dass man die Zahnlängen beider Räder passend wählt, was allerdings grosse Sachkenntniss erfordert; Bilgram verfährt danach. In der Bilgram'schen Werkstatt in Philadelphia sind zwei Reihen der Kegelradschneidmaschinen in regelmäfsigem Betrieb*).

Die Erzwingung der Rollung auf dem Plankegel ist überraschend hübsch herbeigeführt, zunächst durch Einstellung des richtigen Spitzenwinkels des Kegels, sodann aber durch „Wicklung“, vergl. S. 156, und zwar indem zwei Stahlbänder gegeneinander auf Plan- und Vollkegel gespannt sind. Man erkennt die Bänder in Fig. 393; sie sind thatsächlich gerade prismatische, dünne Bänder, gleichsam Ausschnitte aus Kegelmänteln; man kann sie scharf anspannen.

In der Ebene der erwähnten geraden Flanke lässt Bilgram nun einen Hobelstichel nach der Kegelspitze hin und wieder zurück schreiten, während der Grundkegel des zu schneidenden Rades auf dem Plankegel des Planrades rollt (vergl. Fig. 83); die Stichelbewegungen umhüllen also hier nach demselben Grundsatz, der in der Warner-Swasey'schen (jüngeren) Maschine zur Anwendung gelangt ist, die Profile jedes vorgelegten Rades. Dieses aber ist dann Satzrad zu jedem andern, ihm gleich getheilten vorgelegten Rade, vorausgesetzt die Gleichheit der Kantenlänge SP aus Fig. 392. Das gerade Zahnprofil der Zahnstange kommt hier bloss als gedacht zum Vorschein, nämlich in der Fortschreitung des Stichels in einer Ebene.

4. Die Warren'sche Kegelradschneidmaschine. Diese, durch das Bedürfniss der Fahrradindustrie hervorgerufene Maschine beruht auf demselben Grundsatz, wie die Bilgram'sche; nur ersetzt sie das Hobeln der Zahnflanken durch die schnellere Fräsarbeit. Zum Fräsen dienen zwei flache Kegelfräsen, die gleichzeitig arbeiten und so geführt werden, wie die gerade Zahnstangenflanke. Durch Vorschneiden der Lücke wird der Radzain für den Fertigschnitt vorbereitet. Die Maschine ist für ihren

---

*) Eine solche Maschine auch in der Gasmotorenfabrik Deutz. Eine vollständige Darstellung der Maschine gibt American Machinist unter dem 9. Mai 1885 und 12. Oktober 1893.

Zweck, kleine stählerne Kegelräder zu schneiden, sehr geschickt eingerichtet und arbeitet sehr schnell; sie theilt aber mit der Bilgram'schen, ihrer Vorgängerin, die Folgen des „falschen Eingriffs“ der Evolventenverzahnung, und muss, wie diese, durch sorgfältige Wahl der Zahnkopflängen vor zu starkem Auftreten desselben geschützt werden *).

5. Der Fellow'sche Zahnradschneider **) erzeugt Räder mit Evolventenverzahnung, immer auf Grund der verlockend einfachen Form des Zahnstangenzahnes; sie arbeitet mit Fräsern, einen einzigen für jede Theilung.

6. Die Gleason'sche Räderschneidmaschine ***), für Stirn- und für Kegelräder, erzeugt Evolventenverzahnung, eine Maschine, die mit Fräsen, und eine, die mit dem Hobelstichel arbeitet. Kegelräderzaine werden zuerst vorgeschnitten, dann mit ebenflächigem Stichel fertig gehobelt; geometrische Grundlage wie bei Bilgram; eine Formplatte führt geschickt den Stichel der Tangente der zu schneidenden Evolvente nach.

7. Die Grant'sche Kegelradschneidmaschine. Das Schneiden der Kegelräder ist so sehr viel schwieriger, als das der Stirnräder, dass man mit dem Erfolge, den Bilgram errang, und den dessen Nachfolger mit Erfolg auszubilden getrachtet haben, trotz den haftenbleibenden Mängeln zufrieden sein konnte, namentlich wo es gelang, dem „falschen Eingriff“ einigermaſsen auszuweichen. Das nothwendige Zusammenführen aller durch die Zahnprofile gehenden Geraden in einen Punkt hatte zum Hobeln der Zähne geführt und machte auch beim Fräsen sich als Schwierigkeit geltend. Es war aber noch ein kinematisches Mittel übrig geblieben, das unerwartete Erfolge in sich schloss und das Grant aufnahm. Da nämlich bei den Kegelrädern die Satzräderschaft an sich nicht wichtig ist, kann man sich bei ihnen auch der sehr alten Verzahnung bedienen, die der Verf. die Geradfussverzahnung zu nennen vorgeschlagen hat †). Sie entsteht, wenn man Theil- und Schreibkreis in jedem Rade eines Paares

---

*) Ausführlich dargestellt im Amer. Machinist vom 24. März 1898, danach durch Ingenieur Möller erläutert in der Z. d. V. D. Ingenieure 1898.

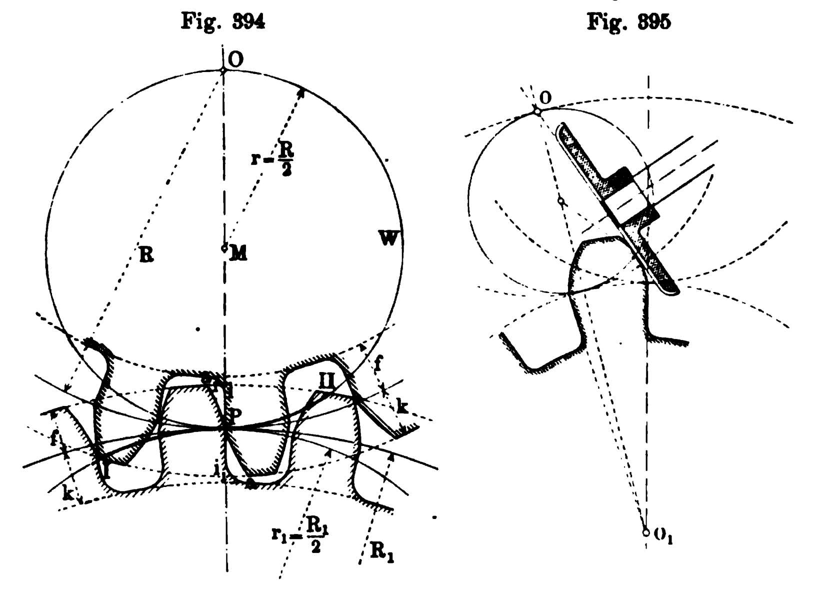
**) The Fellow Gear Shapen Company, Springfield, Vermont.

***) Gleason Tool Company, Rochester N. Y. Die Handlung von Schuchardt & Schütte, Berlin, führt deren sehr sauber gearbeitete Maschinen im Betrieb vor.

†) S. Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl. S. 757.

zum kardanischen Kreispaar macht, s. Fig. 394. Dann werden die Profile der Zahnfüsse gerade und radiale Linien, die der Zahnköpfe Radlinien, deren Form von der Grösse des Partnerrades abhängt; die Verzahnung wird also eine Einzelräderverzahnung. Als Theilkreishalbmesser gelten bei den Kegelrädern, wie wir von S. 91 ff. wissen, die Kantenlängen der Ergänzungskegel r und r_1, Fig. 392. Grant hat nun in seiner Maschine*) den Umstand benutzt, dass die ebene Fussflanke jedes der Räder

Fig. 394 Fig. 395



die cykloidische Kopfflanke des andern Rades umhüllt. Er fräst nicht nur die Fussflanken mit einer Planfräse, der er aussen noch eine Stirnzähnelung gibt, s. Fig. 395, sondern auch die Kopfflanke, indem er 1) ihre Ebene relativ um die Achse O bewegt, die durch die Kegelspitze geht, und 2) den Theilkreisen die ihnen zukommende gegenseitige Rollungsbewegung ertheilt. Es sind demnach nur Planfräsen für alle vorkommenden Radgrössen und Zähnezahlen erforderlich.

Die geraden Fussflanken sind auch für Holzzähne sehr geeignet. Das ganze Verfahren empfiehlt sich durch seine kinematische, wie technologische Einfachheit auch für Stirnräder, wofern diese nicht Satzräder sein müssen.

*) S. American Machinist 1894, 7. Juni, S. 2.

Es sei noch erwähnt, dass die ausgezeichnete Fabrik in Oerliken bei Zürich grosse Kegelräder durch Hobeln der Zahnflanken unter Führung des Stichels nach stark vergrösserter Formplatte sehr schön anfertigt.

Von den betrachteten sieben Verfahrungsweisen ist die erste zwar schon alt, ist aber durch die neuerliche Verwendung der zwangläufig höchst genau vorgerissenen Lehren kinematisch aufgefrischt worden. Die andern zeichnen sich durch eine merkwürdige Vertiefung in die kinematischen Gesetze aus. Und mit welchem Erfolge! Statt eines Viertelhunderts schwierig herzustellender Fräsen für jede einzelne Theilung brauchen Warner & Swasey für jede Theilung nur eine einzige Fräse, und erzeugen damit dennoch Satzräder. Bilgram stellt fein und genau verzahnte Kegelräder ohne Fräse und ohne Lehre, bloss mit dem Hobelstichel her, förmlich Geometrie in der Luft betreibend; Warren ersetzt, allen Schwierigkeiten trotzend, Bilgrams Hobelstichel durch die Fräse. Grant löst die Aufgabe der Einzelräderverzahnung mit einer einzigen Fräsenform, dazu der allereinfachsten Art, für alle Theilungen. Das sind Fortschritte, die von der Wissenschaft der Zwanglauflehre ganz allein geleitet worden sind, aber dem praktischen Maschinenbau die werthvollsten Dienste geleistet haben.

Es könnte den Anschein haben, als ob wir durch die vorstehenden Untersuchungen vorzeitig in das Gebiet der Gestaltung gelangt seien. Das ist aber nicht der Fall, da die Werkzeuge nur in ihrer allgemeinen Form, wesentlich indessen wegen ihrer Bewegungen betrachtet worden sind. Dass es nur amerikanische Ingenieure gewesen sind, die den von der Wissenschaft eröffneten Weg neuerdings mit so grossem praktischem Erfolg betreten haben, ist sehr bemerkenswerth.

Die Schraubenräder eignen sich unmittelbar zum Schneiden auf der Maschine mittelst passend geformter Stichel, unter Umständen auch geeigneter Bohrer, die ähnlich wie die Langlochbohrmaschine beiden Profilen der Zahnlücke die gewünschte Form geben. Im Ganzen entspricht dies dem älteren, S. 457 besprochenen Verfahren, wonach das Profil des schneidenden Werkzeugs nach Zeichnung herzustellen ist*). Ein guter Gang wird hier übrigens leichter erzielt, als bei den geradzähnigen

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 565 ff.

Rädern, weil die genaue Schraubenform schon einen grossen Theil der Bedingungen für denselben erfüllt. Demzufolge ist es auch gelungen, für die kraftreichsten Betriebe, die wir überhaupt gebrauchen, die der Walzwerke, die Schraubenräder für parallele Achsen in Form der Pfeilräder oder Räder mit Winkelzähnen, s. Fig. 396, einzuführen, Räder, die 1808 von White für Uhrwerke angegeben wurden. Die deutschen Stahlhütten haben die Herstellung dieser Räder aus Gussstahl eingeführt und sie zu hoher

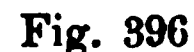
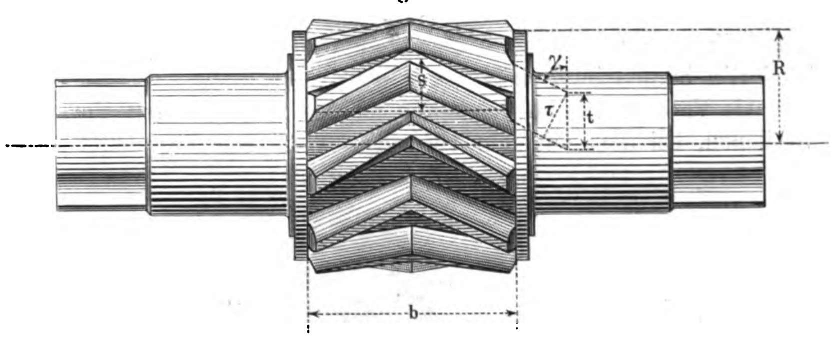


Fig. 396

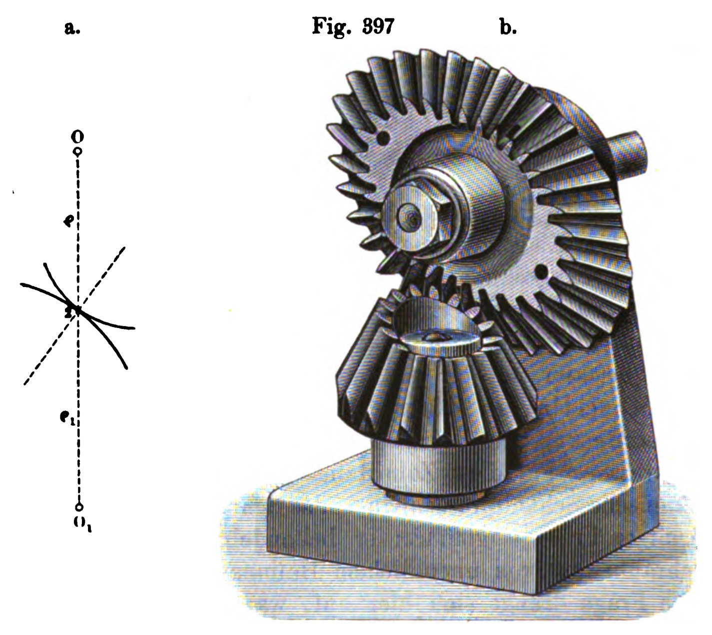


Vollkommenheit gebracht. Der so gebräuchliche Trieb mit Schraube ohne Ende, der sog. Wurmschraubentrieb, dessen hohes Alter wir S. 201 kennen lernten, kann in seiner üblichen Form nur annähernd richtig verzahnt werden; er ist aber in der Form der Globoidschraube sehr günstig und streng richtig herzustellen, wie der Verfasser an der angemerkten Stelle gezeigt hat. Das genaue Schneiden der Zahnräder hat sich auch auf die Zahnstange erstreckt; eine solche von Bedeutung ist diejenige der Schnellpressen. Für diese Zahnstange hat Hoe, der hervorragende amerikanische Schnellpressenbauer, das Schneiden mittelst schraubenförmiger Fräse eingeführt; er behandelt also die Zahnstange als Schraubenrad von unendlichem Halbmesser.

Die Frage drängt sich hier auf, was etwa die deutsche Industrie thun soll, nachdem nun die geschilderten merkwürdigen Vervollkommnungen in der Zahnerzeugung stattgefunden haben, und zwar im Ausland. Die Räderschneidmaschine ist kostbar und erfordert, wenn es sich um Kegelräder handelt, und wenn die Aufgaben wechseln, ganz besondere Sachkenntniss. Andrerseits ist der Vortheil, den das geschnittene, spielfrei gehende Rad gewährt, so gross und gleichzeitig der Wettbewerb mit der

eingeführten Waare so wichtig, dass man unbedingt zur Maschine wird übergehen müssen; die Zeit der Räderformmaschine, die man zuerst so sehr willkommen heissen durfte, ist zudem im Ausgehen oder schon vorüber. Gezaudert sollte daher nicht werden. Das Beste möchte zweierlei sein. Einmal, dass sich für die allgemeinen, wechselnden Aufgaben einige wenige Fabriken vollständig einrichteten, die das Schneiden der ihnen zugestellten Radzaine übernähmen*), und sodann, dass die Einzel-Industrien, die nur wenig Arten von Rädern und nicht zu grosse gebrauchen, sich mit eignen Räderschneidmaschinen ausrüsteten, wie die Fahrradfabriken bereits thun. Ein kleineres Räderschneidwerk ist in Berlin bereits im Betrieb**).

Als Verfahren beim Schneiden möchte dasjenige den Vorzug verdienen, bei dem mit sehr einfachem Werkzeug Vorschnitt ge-



a. Fig. 397 b.

braucht würde, worauf dann der Feinschnitt mit den feinen, und nun weniger angestrengten, also besser erhaltbaren Werkzeugen

*) Man vergleiche die Grant'schen Räderschneidwerke (*Grant Gear Works*) in Philadelphia, Boston und Cleveland, sowie die Bilgram'sche Kegelradfabrik in Philadelphia.

**) Friedrich Stolzenberg & Cie, Berlin O. 27.

vorzunehmen wäre. Man hätte sorgfältig auszuwählen, wo die Räder Satzräder sein müssten und wo nicht, und danach die Verzahnungsart zu bestimmen.

Unrunde Zahnräder kommen wenig zur Verwendung; auch hat ihre Benutzung eher ab- als zugenommen. Wir haben sie oben, §. 64, bei den Gegendrehungskurbeln gestreift, und gefunden, dass sich die elliptischen Stirnräder bis auf kleine Abschnitte durch die genannten Kurbeltriebe ersetzen lassen. Die Bedingungen für die in eine Richtung fallenden Fahrstrahlen unrunder Polbahnen mit parallelen Achsen, Fig. 397, sind:

$$\varrho + \varrho_1 = \text{dem Achsenabstand } c,$$

und

$$\varrho\, dw = \pm\, \varrho_1\, dw_1.$$

Am leichtesten bieten sich die sogenannten Spiralräder, deren Polbahnen aus Stücken logarithmischer Spiralen bestehen *). Besonders wichtig für den praktischen Maschinenbau sind die unrunden Räder nicht mehr. — Unrunde Kegelräder sind jüngst von J. Favets in der unter b, Fig. 397, angegebenen Form für das Fahrrad vorgeschlagen worden; sie sollen die Tretbewegung erleichtern, indem in der Nähe der Todpunkte der Tretkurbeln das treibende ovale Rad mit seinen kleinsten Halbmessern auf das getriebene Rad wirkt **).

§. 72

Reibrädertriebe

Reibräder sind runde Räder, deren runde Polbahnen unmittelbar aufeinander rollen. Wir haben oben, §. 42, ihre Verwendung zur Leitung gestreift, müssen aber hier noch einige Bemerkungen über sie hinzufügen. Zur Reibung, die ihnen den Namen gibt, stehen sie in eigenthümlicher Beziehung. Als Leiträder dienen sie nämlich in erster Linie dazu, die Reibung zwischen Theilen zu vermindern, während umgekehrt bei ihrer Verwendung als Triebräder die Reibung gross sein soll, um das

*) Ausführliches findet man in Redtenbachers Bewegungsmechanismen, Mannheim 1861, S. 4; sodann in Kellers Triebwerken, Heidelberg 1874, S. 147 ff.

**) S. Sc. American Supplement vom 1. Oktober 1898.

Gleiten zu verhindern. Indessen erklärt sich dieser scheinbare schroffe Gegensatz dadurch, dass es sich im ersteren Falle um wälzende, im andern um gleitende Reibung handelt.

Wie alt und wie nützlich die Verwendung der Leiträder ist, sahen wir oben bei den uralten Darstellungen, die die Figuren 150 und 149 wiedergaben. Indem man ihnen dann gelagerte Drehkörperpaare in der Form von „Schenkeln" und „Buchsen" oder Zapfen und Lager zufügte, bildete man sie schon ganz früh zu dem wichtigen Theil der Fuhrwerke aus, den sie in unzähblaren Anwendungen an Geräthen sowohl, als an Maschinen ausmachen. Achsenlose Leiträder sind die Wälzrollen, die bei bloss hin und her bewegten Theilen als Reibungsverminderer benutzt werden, wie bei Lagerungen von Brückenträgern, Fig. 398. Durch unablässige Bemühungen ist man indessen in unsrer Zeit auch dahin gelangt, sie für dauernde, fortgesetzte Drehungen tauglich zu machen. Es hat der hohen Verfeinerung des heutigen Maschinenbaues bedurft, um dieses Ziel zu erreichen. Jetzt werden Lager für Tragzapfen wie Stützzapfen, Fig. 399 und Fig. 400, mit solchen Wälzrollen

Fig. 398

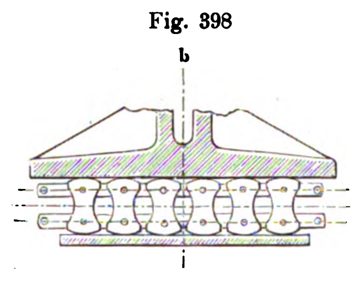
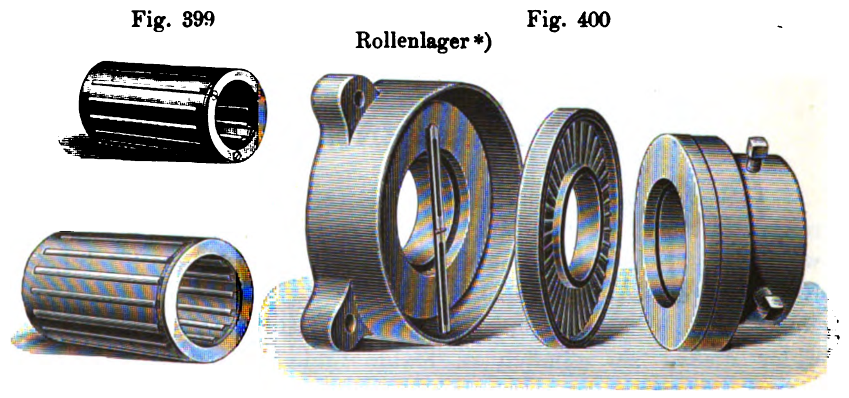


Fig. 399 Fig. 400

Rollenlager *)



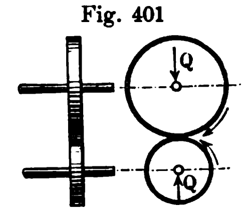
ausgerüstet, denen man einestheils die grösste Genauigkeit der Rundung, andterntheils die erforderliche Härte zu geben gelernt hat, die für die Aufnahme starker, dauernder Belastung unerläss-

*) Der Mossberg Mfg. Company in Providence R. J., Vertreter in Berlin, Sommerstrasse 5.

lich waren *). Die *Roller bearing Company* in London liefert neuerdings auch Rollenlager, und zwar in Bocklagerform, für Dynamomaschinen **). Für geringere und nicht zu lange andauernde Belastungen haben die kugeligen Wälzrollen beim Fahrrad sich in bekannter Weise bewährt.

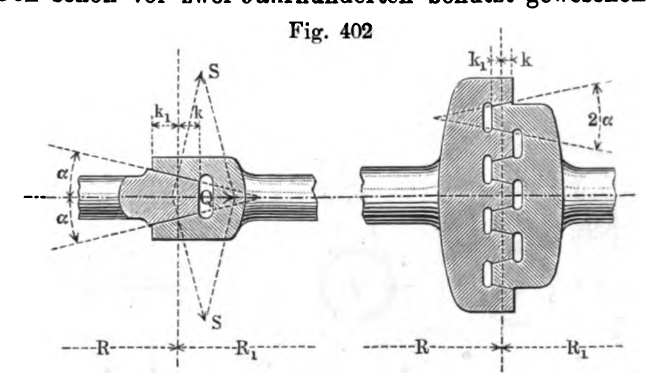
Treibende Reibräder für parallele Achsen erhalten gewöhnlich cylindrische oder auch ballige Umflächen, s. Fig. 401. Sie müssen mit einer so grossen Kraft Q gegeneinander gepresst werden, dass beim Reibungskoëffizienten f der Werth Qf gleich oder grösser als die zu übertragende Umfangskraft P ausfällt. Die grossartigste Anwendung finden die treibenden Reibräder bei der Lokomotive; der Schienenstrang vertritt dabei eines der Räder im Paare. Mit den grössten Anstrengungen ist die Industrie dahin gelangt, Schienen und Radreifen die erforderliche Festigkeit zu geben, um bei der winzigen Berührungsfläche dem Drucke Q von 6 t und darüber dauernd widerstehen zu können. Andrerseits stellen die Laufräder von Lokomotive und Wagen eine grossartige Verwendung der reibungsvermindernden Leiträder dar.

Fig. 401



Den schon vor zwei Jahrhunderten benutzt gewesenen Holz-

Fig. 402



besatz für Triebwerkreibräder hat Wicklin mit Erfolg aufgenommen ***) und dahin ausgebildet, dass derselbe $^3/_8$ bis $^1/_2$ kg auf

*) S. des Verfassers Vortrag: Ueber die neuen amerikanischen Rollenlager und die damit erzielte Ersparniss an Reibung, Glasers Annalen 1898, Bd. 42.

**) London S W, Westminster, Delahay-Street 1.

***) S. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 505.

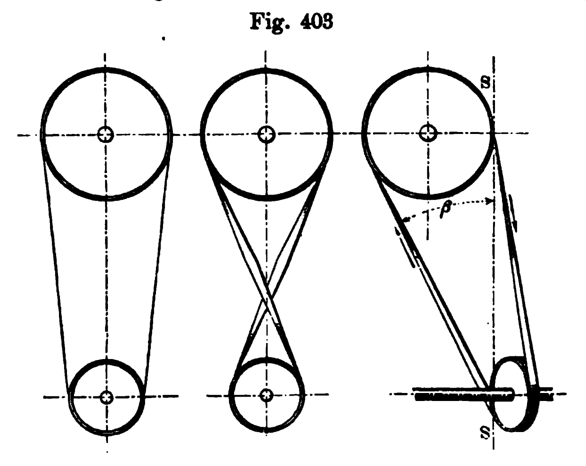
den Millimeter Kranzbreite überträgt. Andere Versuche, die gleitende Reibung der Radkränze zu steigern, liegen in den „Keilrädern", s. Fig. 402, vor, die ebenfalls schon vor vielen Jahren gebraucht worden waren. Die über die Polbahnen, bezw. Axoide um k und k_1 hinausragenden Theile der keiligen Kranztheile verursachen gewisse Reibungsverluste, die man aber bei Dampfwinden und dergl. der Einfachheit der Bauart zuliebe hinnimmt*). Auf Reibräder für winklige Achsen kommen wir weiter unten zurück.

§. 73

Rollentriebe

Der einfache Rollentrieb für Riemen, Fig. 403, geht, wie S. 175 gezeigt wurde, durch Gegendopplung aus der Trackleitung Fig. 116 b, S. 163, hervor, a offener, b gekreuzter, c geschränkter Riementrieb. Die Haftung des Riemens an den Rollenumfängen ist für die Benutzung unerlässlich und wird durch Anspannung

Fig. 403



des Riemens und entsprechenden Gegendruck der Lager bewirkt. Der erforderliche Druck fällt bedeutend kleiner aus, als derjenige, den die starren Reibräder erfordern, nämlich in mittleren Fällen nur etwas über halb so gross. Ursache ist, dass das biegsame Track auf dem ganzen umfassten Bogen radial auf die

*) S. Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl. S. 738.

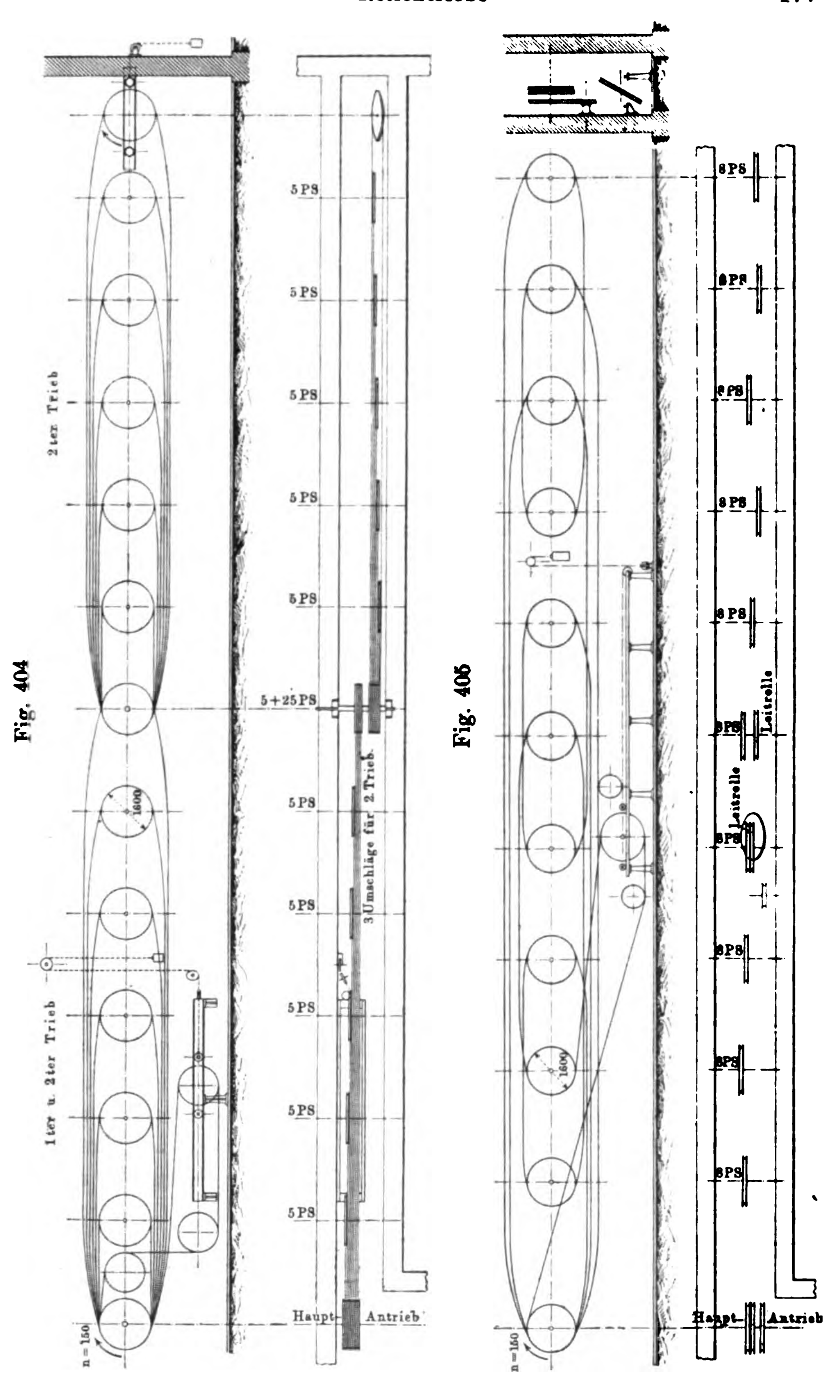
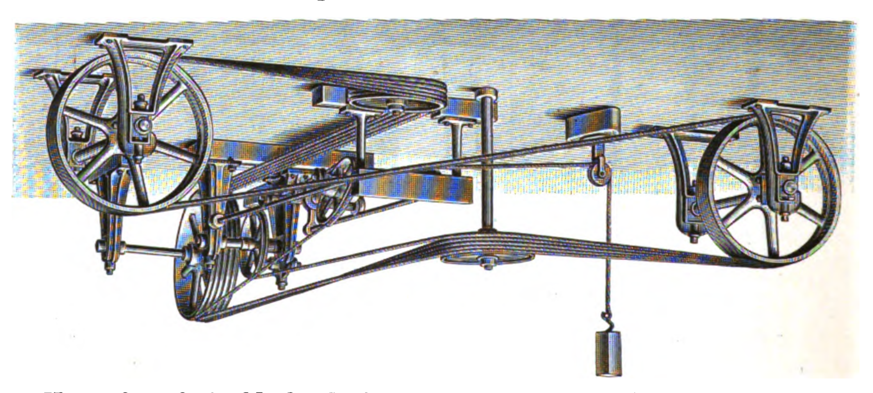


Fig. 404

Fig. 405

Scheibe presst*). Es ist wichtig, sich klar zu machen, dass unser Riementrieb, den wir so überaus häufig anwenden, in seiner Einfachheit erst möglich geworden ist, seit man (vor stark einem Jahrhundert) lernte, die Scheiben genau drehrund und konaxial zu den Achsen oder Wellen herzustellen**). Der Seiltrieb, der viel älter ist, als der Riementrieb, wurde vor etwa vierzig Jahren wieder neu aufgenommen, zuerst als Drahtseiltrieb***), dann, in weiterem Zurückgreifen, als Hanfseiltrieb. Viel benutzt ist nun der vom Verfasser empfohlene „Kreisseiltrieb“, der dem einfachen oder Linientrieb, der bloss von einer Rolle zu einer andern geht, dadurch gegenübersteht, dass das Treibseil in mehreren Umschlägen, und meist um mehrere getriebene Rollen geht und durch eine Spannrolle die nöthige Anspannung erfährt. Ein Beispiel wurde schon in Fig. 137 vorgeführt; zwei weitere folgen hier (s. v. S.). Beide sind grösseren Webereianlagen entnommen und sind mit bestem Erfolge ausgeführt durch den Maschinenfabrikanten

Fig. 406 Winkel-Seiltrieb



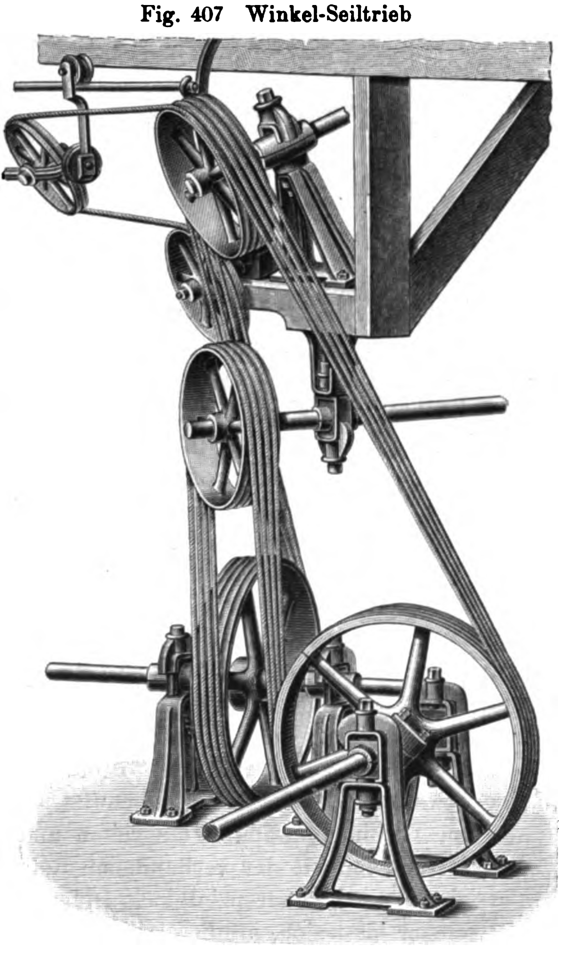
H. Rockstroh in Markt-Redwitz in Baiern. Bei der ersteren Anlage waren je 5 *PS* auf 11 Wellen zu übertragen. Es ist so geschehen, dass vom Hauptantrieb aus 5 Wellen mit je 5 und eine mit 30 *PS* mittelst eines einzigen Kreisseils betrieben werden. Von der letzteren Welle aus überträgt sodann ein zweiter Kreistrieb 25 *PS* gleichmäſsig vertheilend auf die 5 folgenden Wellen. Seit nunmehr fünf Jahren ist die Einrichtung in regelmäſsigem Betrieb; Seil 3 mal gekürzt.

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 718. — **) S. Band I, S. 167. — ***) S. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 792 und Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl. S. 816 ff.

Bei der zweiten Anlage übertragen 3 Umschläge 80 *PS* gleichförmig auf 10 Wellen; geeignete Spannwagen halten die Seile in der angemessenen Anspannung.

In den Vereinigten Staaten ist der Kreisseiltrieb ebenfalls sehr verbreitet und wird namentlich von der Dodge Manufacturing Company in Mishawaka, Staat Indiana, ausgeführt, vorzugsweise unter Anwendung von Seilen aus Manilahanf. Das Kreisseil büsst an Lenkbarkeit nichts dadurch ein, dass mehrere Trumme nebeneinander zur Anwendung kommen; man kann es deshalb weit leichter als einen Riemen Winkel und Wendungen durchlaufen lassen, wie z. B. Fig. 406, einer Ausführung der Dodge-Gesellschaft entnommen, erkennen lässt.

Fig. 407 Winkel-Seiltrieb

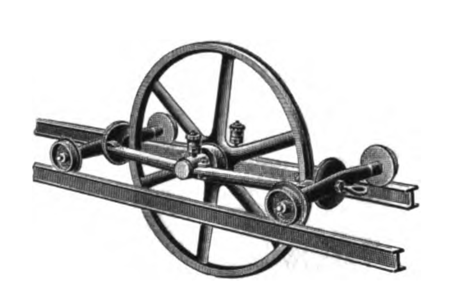


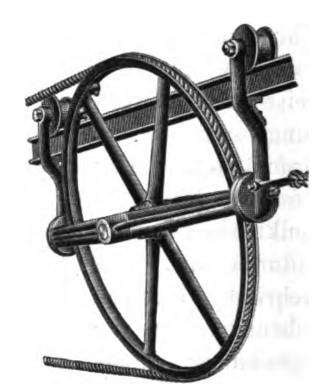
Deutlicher noch wird die vorzügliche Ablenkbarkeit des Kreisseils aus nebenstehender Fig. 407, eine Anlage darstellend, in der das Kreisseil mehrere kraftverschlingende Kegelradtriebe mit vorzüglichem Erfolge ersetzt hat, ebenfalls von der Dodge-Gesellschaft ausgeführt. Der Spannwagen ist aus den obigen Figuren 404 u. 405 in seiner allgemeinen Anordnung schon zu erkennen; zwei Arten der Ausführung der Spannrolle nebst Bahn sind noch in

den Figuren 408 u. 409 dargestellt; die Leichtigkeit, mit der sich die Rolle an- und unterbringen lässt, wird daran klar.

Fig. 408 Fig. 409

Spannwagen





Eine sehr hübsche Anwendung des Kreisseiltriebs stellt Fig. 410 dar, angewandt in der Lokomotivwerkstatt der Lancashire-Yorkshire-Bahn in England. An allen vier Wänden einer Feuerbüchse wird gleichzeitig gebohrt oder Gewinde geschnitten, wobei die Loch- und Gewindbohrer von einem einzigen Hanf-Kreisseiltrieb bewegt werden. Der Rollenträger wird mittelst Krans auf die umgestülpte Feuerbüchse aufgesetzt; Gegengewichte erhalten die Anspannungen*). Man vergleiche oben S. 181.

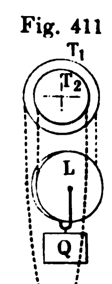
Wählt man als Track im Rollentrieb eine Kette, insbesondere eine Gelenkkette, wie neuerdings mit Erfolg geschehen ist, vergl. Fig. 136, so fällt die Nothwendigkeit der Anspannung behufs der Anhaftung wieder weg, indem man die Kette in Verzahnung auf den Rollen eingreifen lassen kann.

Als eine Abart des Kreistriebs kann man auch den „Leitungsflaschenzug“, Fig. 411, ansehen. Hier ist in der Regel als Track eine gewöhnliche Schakenkette benutzt, deren Glieder in Mulden auf den Trommelumfängen eingreifen und darin haften. Wegen der Verschiedenheit der verbundenen Rollen T_1 und T_2 wird die Vorrichtung auch Differenzialblock, Differenzialflaschenzug genannt. Ein solcher lässt sich, ähnlich wie der Leitungsflaschenzug, durch Gegendopplung (vergl. Fig. 275) vom Kraftschluss ganz befreien. Als ein eigenthümlicher Vorzug des Treibflaschenzugs gilt es, dass seine schädlichen Widerstände sein Ablaufen verhindern.

*) S. American Machinist 1898, 1. September.

Fig. 410 *Gewindeschneidung an Feuerbüchse mittelst Kreisseiltriebs*

Fig. 411



Eine besondere Art der Treibung mittelst Trackes ist die schon oben, S. 327 und 467, erwähnte „Wicklung“. Sie ermöglicht, wenn als Track ein geeignetes Stahlband benutzt wird, eine Theildrehungsübertragung, die sich der mathematischen Genauigkeit scharf annähert und dazu reibungslos vor sich geht. Angewandt ist sie mit Glück u. a. in den beiden auf S. 461 erwähnten Maschinen zum Vorreissen cyklischer Kurven.

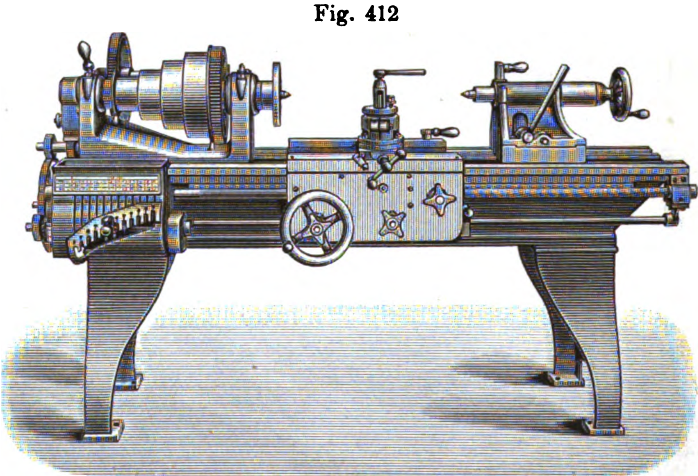
§. 74

Wechsel- und Wendegetriebe

Die drei besprochenen Rädertriebe kann man auch so ausbilden, dass sie, je nach ihrer Einstellung, verschiedene Winkelschnellen übertragen, also in der Drehungsübertragung wechseln können. Die so vorgerichteten Triebe heissen Wechselgetriebe oder Wechseltriebe. Einige Beispiele seien vorgeführt.

Wechseltriebe mit Zahnrädern sind an der herkömmlichen „englischen“ Drehbank, die zum Schraubenschneiden dienen soll, gebräuchlich. Bei ihr sind die „Wechselräder“, die die

Fig. 412

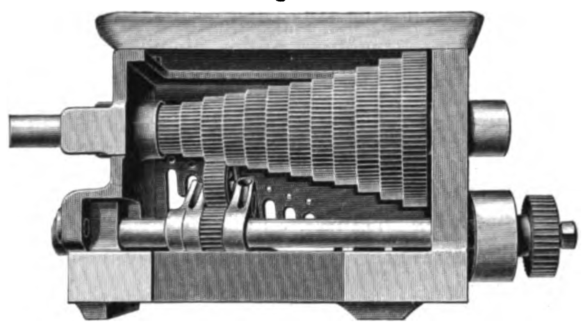


Drehung der „Drehbankspindel“ auf die Leitschraube zu übertragen bestimmt sind (vergl. S. 371), aussen links am Gestell angeordnet; Vorrathsräder für eine Reihe von Uebersetzungszahlen werden besonders in Schränken oder an Gestellen aufbewahrt. Die Wechselräder müssen, da sie mannigfach zu paaren sind, „Satzräder“ sein.

Mit diesem traulichen Herkommen hat der amerikanische Maschinenbau vor wenig Jahren, eigentlich auf der Chicagoer Weltausstellung, mit einem male gebrochen, indem er in der Hendey-Norton'schen Drehbank und deren eiligen Nachfolgern die Wechselräder ganz anders unterbrachte. Nämlich: wie aus Fig. 412 u. 413

zu verstehen ist, 1) in Form einer dicht gedrängten Reihe von verschieden grossen Rädern, die auf einer in der Spindeldocke gelagerten Welle befestigt sind, und 2) vermittelst eines Zwischenrades auf ein Partnerrad wirken können, das auf einer zweiten Welle verschiebbar, aber undrehbar angebracht ist, welche Welle 3) ihrerseits mittelst eines Stirnräderpaares die Leitschraube treibt,

Fig. 413



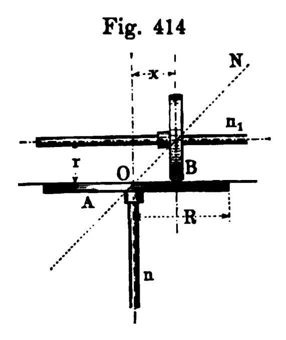
während die erstgenannte, vielrädrige Welle mittelst eines Stirnräderpaares von der Spindel aus betrieben wird. Das erwähnte Zwischenrad kann, unter Erhaltung seines Eingriffes mit dem Partnerrade, mittelst eines Handhebels seitlich verlegt und mit irgend einem der Wechselräder in Eingriff gesetzt werden. Zahlen auf dem Gestellmantel zeigen die so erzielbaren Uebersetzungen an*).

Es ist sofort ersichtlich, dass durch diese Anordnung ganz bedeutende Vortheile für das Arbeiten auf der Bank entstehen. In wenig Sekunden können Wechsel in der Vorschubschnelle herbeigeführt werden und bedürfen nicht mehr der Zuhülfenahme der Kreide, wie bei der alten Anordnung. Wechseln an einem Werkstück die Durchmesser, so kann der Dreher rasch die Spanbreite dem anpassen, auch jederzeit den Vorschub für das „Abschruppen" in denjenigen für das „Schlichten" verwandeln, auch aufeinanderfolgende Schraubengewinde von verschiedenen Steigungen, die demselben Werkstück anzuschneiden sind, mit Leichtigkeit nacheinander schneiden. Auf Nebenvortheile, deren die Bank noch ausserdem vorzügliche bietet, kann hier nicht ein-

*) Das Partnerrad kann auch als „Marlboroughrad" in der Form einer gerieften Walze ausgeführt werden, damit man es nicht zu verschieben braucht.

gegangen werden*). Zu erwähnen möchte aber noch sein, dass Norton in den beiden Paaren, die die Wechselwellen mit Spindel und Leitschraube verbinden, wenn nöthig, mittelst nur zweier Räderpaare die Zahl der benutzbaren Uebersetzungen noch vervierfacht. Die Gesammtheit dieser Vortheile macht es begreiflich, dass die Hendey-Norton'sche Drehbank eine Verbreitung findet, die völlig ungewöhnlich ist.

Fig. 414



Einen **Reibrad-Wechseltrieb** versinnlicht Fig. 414. Der Trieb kann zugleich als Beispiel für Reibrädertrieb bei winkligen Achsen dienen. Das stehende Reibrad ist ballig geformt, ein sogenanntes Diskusrad, und auf seiner Achse oder mit derselben radial auf Rad A verschiebbar. Die Uebersetzung von A auf B ist nun:

$$\frac{n_1}{n} = \frac{x}{r},$$

wenn x den Abstand des Eingriffmittelpunktes vom Achsenpunkt O bezeichnet. n_1 ist proportional x; grösster Werth von n_1 ist $n \,.\, R : r$. Angewandt ist dieser Trieb schon lange in Kattundruckmaschinen zur straffen Ueberführung der Stücke von einer Maschine zur andern, neuerdings aber auch vielfach in Schleifmaschinen, Sägewerken und andern Arbeitsmaschinen als Speisetrieb. Eine schätzbare Eigenthümlichkeit des Diskustriebes ist, dass man das Uebersetzungsverhältniss in den feinsten Abstufungen verändern kann, eine Eigenschaft, die den Zahnradwechseltrieben abgeht, weil deren Zähnezahlen stets ganze Zahlen sein müssen.

Ein sehr beliebt gewordener Reibrad-Wechseltrieb ist der oben in Fig. 142 dargestellte Evans'sche. Er ist jetzt für Drehbänke, Fräs- und Schleifbänke und andere Arbeitsmaschinen in tausendfältigem Gebrauch, ein Beispiel von der Verwerthbarkeit einer, wenn auch nicht grossen, so doch sehr nützlichen Erfindung. Nahe ihm verwandt ist der Wechseltrieb von Escher, Wyss & Cie, der in Fig. 143 abgebildet wurde. Er dient vorzugsweise an Papiermaschinen, wo die soeben erwähnte feine

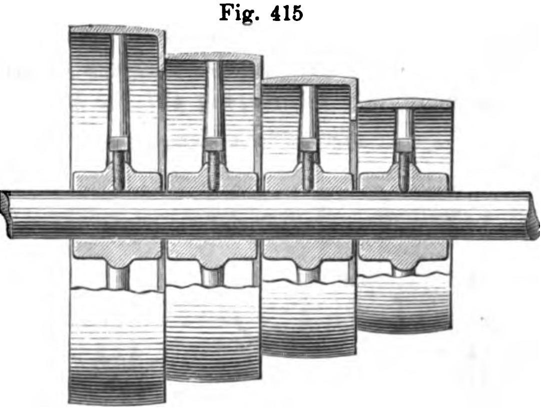
---

*) Siehe aber des Verfassers mehrerwähnte „Mittheilungen" in den Berliner Verhandlungen 1894.

Veränderbarkeit der Uebersetzungszahl von grosser Wichtigkeit ist.

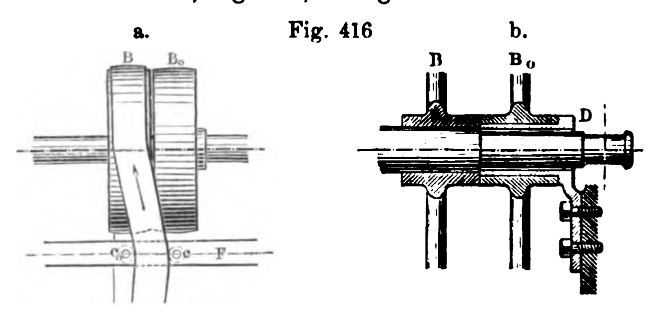
Riemenwechseltriebe kommen viel vor. Das Paar von Stufenscheiben, Fig. 415, gehört dazu*). Vielfach wird bei ihm die Verlegung des Riemens von Stufe zu Stufe mittelst Handgeräths ausgeführt, jedoch hat man es auch selbstthätig eingerichtet.

Fig. 415



Der verbreitetste und allerwichtigste Riemenwechseltrieb ist die sogenannte „lose Rolle“, die den Wechsel zwischen der Umlaufzahl n_1 und Null bei der getriebenen Welle bewirkt, während die treibende mit der Umlaufzahl n weiter läuft. Mittelst des Riemenführers F, Fig. 416, verlegt man den Riemen von der

a. Fig. 416 b.



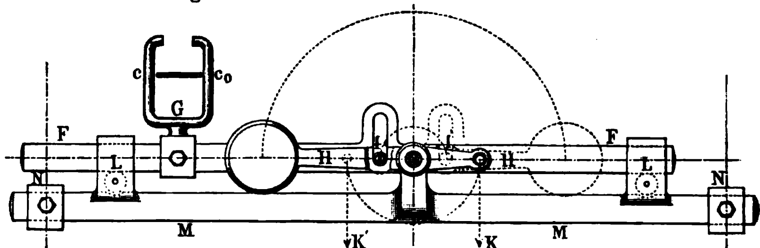
„festen“ Rolle B auf die „lose“ Rolle B_0. Damit letztere die getriebene Welle nicht durch Reibung mitschleppen kann, was Gefahren mit sich bringen würde, lagert man sie gemäss dem

*) Seine keineswegs einfache Theorie, die angibt, wie gross die Stufenhöhen sein müssen, damit der offene Riemen auf jedem Stufenpaar gleichstark angespannt sei, siehe Konstrukteur, IV. Aufl., S. 766. Die dort vom Verfasser gegebene zeichnerische Lösung der Aufgabe ist ganz neuerdings durch Herrn Ingenieur Palmer von der mechan. Abtheilung der *University of Kansas* in einer höchst sorgfältigen Arbeit auf eine neue, leichtere Form gebracht worden, die eine gute Annäherung liefert; s. The Design of Cone Pulleys by Walter K. Palmer, Lawrence, Kansas, 1898.

Vorschlag des Mülhauser Schutzvereins auf einen zur Welle konaxialen, sie aber nicht berührenden hohlen Zapfen *D*, Fig. 416 b.

Der Riemenführer der losen Rolle ist Gegenstand einer gewissen Aufmerksamkeit geworden, indem man seiner irrthümlichen Handhabung vorzubeugen getrachtet hat. Man gibt ihm hierfür Mechanismen bei, die bloss durch einfachen Zug an einer Leine oder Kette die Verlegung des Riemens bewirken. Bei uns hat der Zimmermann'sche Führer, Fig. 417, die Aufgabe mit Erfolg gelöst*);

Fig. 417 Zimmermann'scher Riemenführer



eine neuere, hübsche Lösung der Aufgabe ist die von Armanni, Fig. 418. Als Mechanismus gehört sie zu den Schaltwerken (siehe unten). Ein einfacher Zug an der Stange *Z* schaltet den Hebel entweder links- oder rechtshin, den Riemen also entweder „auf" oder „ab". — Der Maschinenfabrikant Hornsteiner in Zisko bei Prag hat die Hanfseilübertragung sehr ausgebildet und dabei auch die Fest- und Losrolle in praktisch sehr brauchbarer Weise hergestellt**).

Denkt man sich die Absätze eines Stufenscheibenpaares so klein gemacht, dass sie schliesslich stetig ineinander übergehen, so erhält man das Wechselgetriebe mit Riemenkegelpaar. Es ist in Spinnmaschinen zum Betrieb von Spulen, die in vielen Schichten bewickelt werden sollen, in wichtigem Gebrauch***). — Zu den Riemenwechseltrieben gehören auch die „Ausdehnungsrollen" †), die u. a. an Papiermaschinen zur Fortbewegung des Laufsiebes benutzt werden (vergl. S. 185), auch von Combes (Belfast) für Seil statt Riemen eingerichtet worden sind.

Wendegetriebe, auch Kehrwerke genannt, sind Wechseltriebe, bei denen der Bewegungswechsel bis zur Bewegung im entgegengesetzten Sinne geführt wird. Man hat sowohl Schub-,

*) S. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 764.

**) Modell in der kinemat. Sammlung der Techn. Hochschule zu Berlin.

***) Beispiele in Schmidts Spinnereimechanik, Leipzig 1857.

†) S. Redtenbachers Bewegungsmechanismen, Mannheim 1861, Taf. XV.

als Drehungswendegetriebe ausgebildet. Sie sind ausserordentlich häufig in Anwendung, vorzugsweise mit Riementrieb. Den Mechanismus eines sehr brauchbaren Reibrad-Wendegetriebes versinnlicht Fig. 419. Zwei konaxiale Plankegel A_1 und A_2 fassen ein Diskusrad B zwischen sich und werden abwechselnd mit ihm in oder ausser Eingriff gebracht. In der Form der Cheret'schen Wurfpresse, worin die Achse von B eine steile Pressschraube und

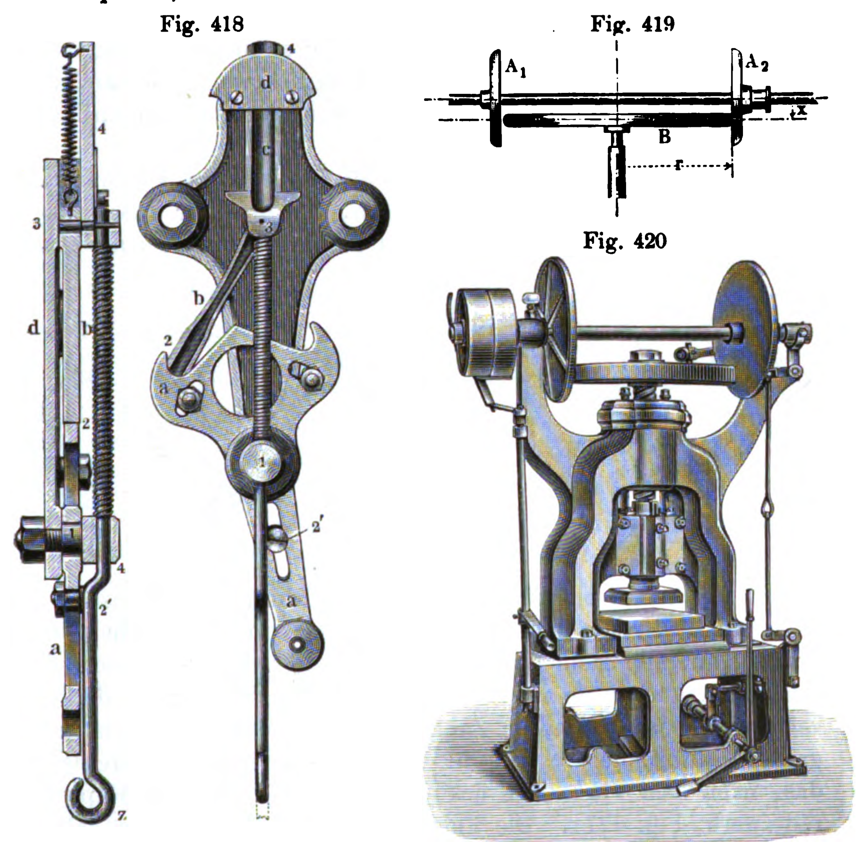


Fig. 418 Fig. 419 Fig. 420

das Rad B ein Schwungrad ist, s. Fig. 420, wurde der Trieb 1867 zuerst in den Grossbetrieb eingeführt, und ist jetzt in solchen Pressen allgemein angewandt. — Ein schon altes Schubkehrwerk mit Zahnrädertrieb ist das sogenannte Mangelrad*).

*) S. Redtenbachers Bewegungsmechanismen, Mannheim 1861, Taf. XV, in mehreren Darstellungen.

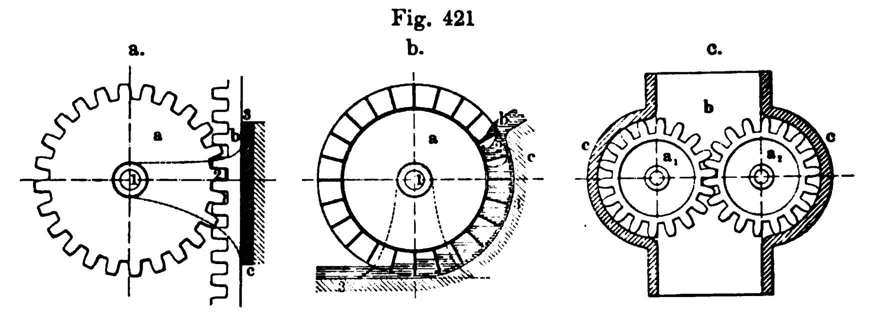
§. 75

Flud-Rädertriebe

Das theoretische Verfahren, ein Flud an die Stelle eines starren Gliedes in einen Mechanismus zu setzen, hat uns bei den Schraubentrieben eine ganze Reihe begrifflicher Vereinfachungen zugeführt, hat gewisse Maschinen als eng zusammengehörig erwiesen, die technisch sowohl, als geschichtlich weit auseinanderlagen; sie gewannen aber durch ihre Zusammenlegung wesentlich an eigentlicher Verständlichkeit.

Dasselbe Verfahren sei nun auf die Rädertriebe angewandt. Der Mechanismus aus starren Gliedern, von dem wir dabei ausgehen können, s. Fig. 421 a, ist ein bei 1 gelagertes, einfaches

Fig. 421



rundes Zahnrad a mit einer Zahnstange b, die am Lagergestell c geführt ist. Ersetzt man diese Zahnstange durch ein Flud, so erhält man, allgemein gefasst, ein Fludrad, z. B. ein Wasserrad, Fig. 421 b, und, wenn man dieser Triebe zwei Stück noch derart verbindet, dass die beiden Zahnräder auch noch unter sich eingreifen, sowie die Gestelle in eines zusammengezogen werden, das, nach dem Vorschlage des Verfassers*), sogenannte Kapselräderwerk, Fig. 421 c. Die Führung der Zahnstange geht dabei unter b in das Gerinne, unter c in das Leitungsrohr und die Kapsel über.

Als Formel für die kinematische Kette des Fludrades erhält man nun, wenn man das runde Zahnrad, d. i. den verzahnten Drehkörper mit Z_r bezeichnet:

---

*) S. den ersten zusammenfassenden Aufsatz in den Berliner Verhandlungen 1868, S. 42.

$$\left.\begin{array}{ccccccccccccc} C & \ldots & | & \ldots & Z_r, F & \ldots\ldots\ldots & F, \tilde{C} & \ldots & \| & \ldots & C \\ 1 & & a & & 2 & b & 3 & & c & & 1 \end{array}\right\} (Z_r F C)\,^{*}),$$

indem wir die Führung des Fluds allgemein als einen höheren Cylinder anschrieben (vergl. Bd. I, S. 253), sie aber in der Engschreibung der Einfachheit wegen weglassen, wie wir auch oben, S. 386, thaten. Die kinematische Kette des Kapselräderwerkes kann sodann durch

$$(Z_r F C)_2$$

ausgedrückt werden, indem man übereinkommt, durch die nachgesetzte Ziffer 2 nicht bloss die Zahl der verbundenen Triebe, sondern auch die Verkettung durch den zweiten Eingriff zu bezeichnen, während mit $2(Z_r F C)$ zwei auf derselben Achse sitzende Fludräder ausgedrückt würden. Unausgedrückt dürfen auch bleiben die ausserhalb der Kapsel die beiden Zahnradwellen noch getrieblich verbindenden gewöhnlichen Zahnräder; denn sie sind kinematisch nur Theile der innenliegenden Zahnräder, dürfen unter Umständen sogar auch ganz fehlen.

Nach Satz XXI, S. 374, lassen sich nun aus der Kette $(Z_r F C)$, da sie drei Glieder hat, $3 \times 2 = 6$ Arten von Trieben, und hieraus nach Satz XXII, S. 383, $3 \times 2 \times 1 = 6$ Gattungen von Maschinen herstellen. Es ist jetzt zuerst zu prüfen, wie weit dies in der Maschinenpraxis geschehen ist. Dabei bleiben wir zweckmäfsigerweise dem üblichen Verfahren treu, diejenigen zur Maschine gemachten Triebe, in denen das Flud, die tropfbare oder gasförmige Flüssigkeit, treibend wirkt, als Kraftmaschinen zu bezeichnen, auch wenn das Flud nicht durch die Natur, sondern künstlich mit Arbeitsvermögen begabt ist, wenn es z. B. einer Hochdruckhaltung entnommen ist, die irgendwie gespeist wird. Dass von dem höheren theoretischen Standpunkt die Abscheidung der „Kraftmaschinen“ nicht haltbar ist, haben wir schon weiter oben kommen sehen; sie thut aber immerhin praktisch ihre Dienste und sei deshalb auch hier beibehalten; auf Fälle, in denen wir schärfer unterscheiden müssen, werden wir bald stossen. Was von den einfachen Fludrädern gilt, gilt auch im allgemeinen von den Kapselräderwerken.

---

*) Ich bezeichne hier allgemein ein Zahnrad durch den Buchstaben Z. Dass es ein rundes Rad ist, ist daran erkennbar, dass dem Zeichen nicht der Zirkumflex $\sim$ übergesetzt ist.



Die sechs Arten Triebe, die aus $(Z_r F C)$ gemacht werden können, sind nun (vergl. S. 375):

$$(Z_r F C)\frac{c}{b},\ (Z_r F C)\frac{c}{a},\ (Z_r F C)\frac{b}{c},\ (Z_r F C)\frac{b}{a},\ (Z_r F C)\frac{a}{c},\ (Z_r F C)\frac{a}{b}.$$

Diese Triebe liefern, wie vorhin erwähnt, auch sechs „Gattungen" von Maschinen, also Fludräderwerken, die wieder jede in einzelne Maschinen-„Arten", also Fludräderarten, zerfallen können, ja auch wirklich zerfallen. Bei der Unterscheidung dieser Arten kommen wir übrigens in die Lage, das Mechanische des Betriebes von Flud zu Rad und umgekehrt noch in Betracht zu ziehen. Denn unser obiger schneller Uebergang von der gusseisernen Zahnstange zum Wasser-, Luft-, Oel-, Dampfstrom ist wohl leicht, wenn man einmal die „Abstraktion" vorgenommen, d. h. die reine Begriffsscheidung durchgeführt hat, die einzig das Wesentliche ins Auge fasst; oder, wenn sie nicht leicht ist, ist sie wenigstens kurz. In unsrem Falle kann sie aber nicht ausdrücken, dass die Technik Jahrhunderte gebraucht hat, um Schritt für Schritt, in lauter kleinen Wandlungen, das Eine für das Andere eintreten zu lassen oder einzuschieben. Und doch müssen wir heute, wo dem Ingenieur die „Abstraktion" auf dem mathematischen Gebiete selbstverständlich ist, hier ebenfalls die reine Ablösung der Begriffe durchführen, dürfen aber dabei die mechanischen Verschiedenheiten der Betriebsarten nicht ausser Acht lassen. Welcher Abstand zwischen dem offen dahinfliessenden Wasserstrom (vergl. S. 221) und dem aus einer Röhre kommenden Dampfstrom, dessen Gesetze allein vier Menschenalter an Studien erforderten! Und doch baut man heute Dampfräder, die durch den fliessenden Dampf ebenso getrieben werden, s. S. 502, wie das syrische Rad durch fliessendes Wasser; damit hat man der logischen Untersuchung geradezu den Beweis in die Hand gedrückt, dass die Begriffsscheidung auf das rein Wesentliche zu kommen trachten müsse, also z. B. im vorliegenden Falle nicht die Bildung des Dampfes, sondern die Wirkung seiner Theilchen zu betrachten habe, wie sie ja auch nicht die Entstehung des Wassers, das das uralte Rad treibt, untersuche, sondern bloss dessen Massenwirkung.

Gerade die Verschiedenartigkeit der mechanischen Wirkung des Fluds in verschiedenen Räder-Arten hat veranlasst, diesen gewisse Formen und Einrichtungen zu geben, die wir, obwohl sie das Wesen der Maschinen nicht treffen, hervorzuheben haben.

Entsprechend dem praktischen Gebrauch unterscheiden wir nämlich, ob

statische Wirkung, oder ob
dynamische Wirkung

des Fludes stattfindet. Wir haben diese Unterscheidung oben bei den Schraubentrieben (S. 387) nicht ausdrücklich gemacht, weil sie nicht so deutlich wie hier mitwirkt; hier aber empfiehlt es sich, sie festzuhalten. Der statische Fludbetrieb kann nun noch unterschieden werden in solchen mit Niederdruck und solchen mit Hochdruck, unter Niederdruck den gewöhnlichen Luftdruck verstanden. Bei diesem niedrigen Druck brauchen die Schaufeln, die in Fig. 421 b die Radzähne vertreten, nicht dicht schliessend der Führung entlang zu gehen; die deshalb entstehenden Fludverluste sind gering. Sie bedingen aber etwas, was wichtig ist, nämlich, dass die betreffenden Räder wirklich gehen, nicht etwa stille stehen wegen zu grosser Widerstände, auch nicht zu langsam gehen, weil sonst doch grosse Mengen Flud durch die Spalten wegrinnen, mit andern Worten: die Umlaufsschnelle der Räder, d. h. die Widerstandsarbeit derselben, muss der durchzuführenden Fludmenge angepasst sein; dies ist bei Zellenrädern weniger genau, bei Kapselräderwerken gar nicht Grundbedingung. Indem wir nun mancherlei feinere Unterschiede ausser Betracht zu lassen genöthigt sind, gelangen wir zu einer Reihe der nun zu besprechenden Fludräder-Arten.

§. 76

Flud-Krafträder, Formel $(Z_r F C)\frac{c}{b}$

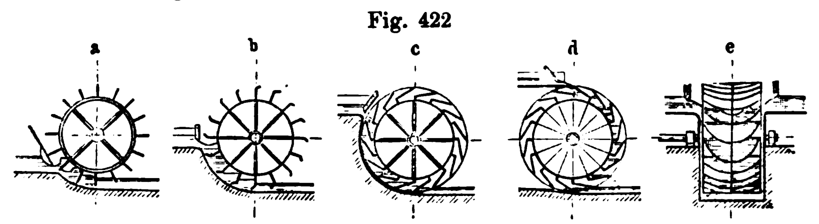
a) Statisch betriebene Fludräder

1) Unterschlächtiges Kropfrad, aussenschlächtig, Wasserrad.
2) Mittelschlächtiges Kropfrad, aussenschlächtig, Wasserrad.
3) Rückschlächtiges Zellenrad, aussenschlächtig, Wasserrad.
4) Oberschlächtiges Zellenrad, aussenschlächtig, Wasserrad*).
5) Zuppingers Zellenrad, doppelt u. seitenschlächtig, Wasserrad.
6) Cleggs u. Crosleys Zellenrad, innenschlächtig, Gasmesser.
7) Siemens'sches Zellenrad, innenschlächtig, Spritmesser.
8) Kapselräderwerke, aussenschlächtig, für Wasser u. Dampf.

*) Viele Darsteller übersehen, dass das rückschlächtige Rad im Vergleich mit dem oberschlächtigen rückwärts läuft, woher seine Benennung.

Wir haben hier acht Arten einer und derselben Maschinengattung vor uns; sie sind in den Figuren 422 bis 424 dargestellt. Die ersten vier Maschinen sind weltbekannt und verbreitet. Bei den Kropfrädern sind die Radzähne an dem Gebilde Z_r blosse Platten mit einer kleinen Knickung, den „Kolben“, §. 48, ähnlich, aber nur annähernd seitlich und vorne schliessend. Bei den Zellenrädern sind die Radzähne in Gefässe übergeführt, die die Wasserverluste ganz vermeiden, ab-

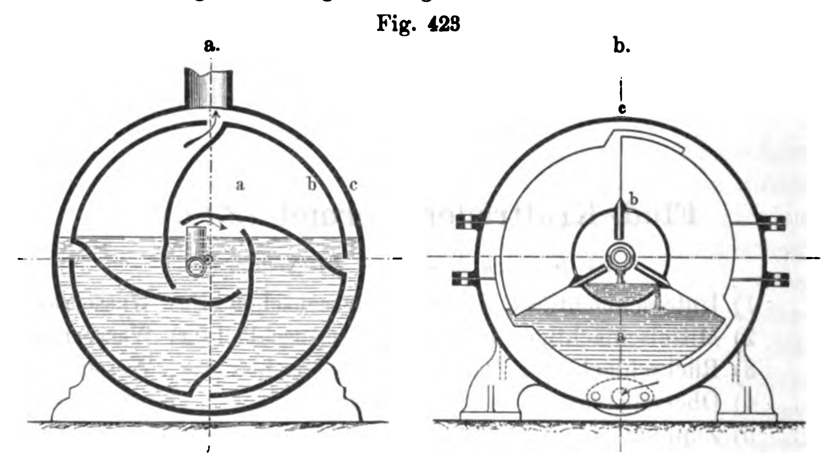
Fig. 422



gesehen von verfrühtem Ausfluss. Das fünfte Wasserrad ist ein zweifaches oder Doppelrad, wie das unten folgende Peltonrad; ausgeführt ist es nicht oft, da es theuer ist.

Bei Nummer 6, dem Clegg'schen Zellenrad, das in der nassen Gasuhr millionenfach in bewährtem Gebrauch ist, ermöglicht die Innenschlächtigkeit, das gasförmige Flud in den Zellen durch ein

Fig. 423

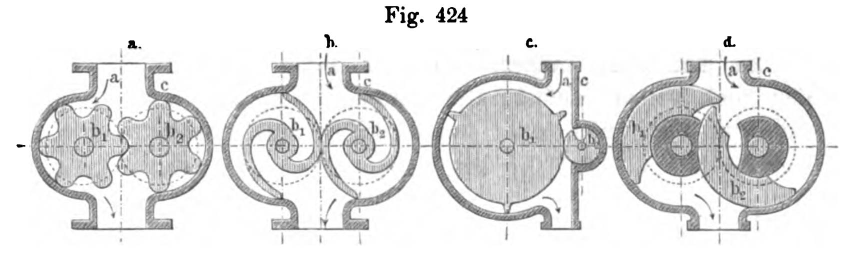


tropfbares Flud abzusperren und demzufolge seine Räumte zu messen; das gasige Flud treibt wegen seines spezifischen Untergewichts nach oben; um das Kippen zu vermeiden, findet die Füllung der Zellen mit Gas jenseits, hier also oberhalb der Radachse statt. Auch das Siemens'sche Messrad ist innenschlächtig.

Es geht bei gleichförmigem Verbrauch aber nicht stetig, wie Cleggs Rad, sondern seine jeweilig unten stehende Zelle steht lange stille und bekommt dann, wenn das zu messende Flud bis zu einer bestimmten Stelle des Mündungsspaltes gestiegen ist, ein einseitiges Uebergewicht*).

Die beiden Messräder, Nummer 6 und 7, sind dem Wesen nach Krafträder, so gut wie die andern; nur wird die Arbeitsstärke des treibenden Fluds im Rad zu weiter nichts benutzt, als zum Ueberwinden der kleinen Widerstände, namentlich also von Reibungen, weshalb man diese auch möglichst klein zu halten sucht. Die Grösse der Kräfte und Arbeiten in den Maschinen ist aber überhaupt nicht Gegenstand der Zwanglauflehre, sondern der angewandten Mechanik. Ueberdies ist der eigentliche praktische Dienst der Messräder eine Ausnutzung einer kinematischen Eigenschaft der sämmtlichen vorgeführten Räder, einschliesslich der aus dem Schraubentrieb gebildeten,

Fig. 424



derjenigen nämlich, dass ihre Umlaufszahl mehr oder weniger genau der Menge des durchgeführten Fluds proportional ist. Das Mehr an Genauigkeit wird nur bei den Messrädern auf das höchste erreichbare Mafs zu bringen gesucht. Wenn daher die Maschinenlehre die Messräder von den Kraftmaschinen trennt, so ist sie vielleicht vom Standpunkt der angewandten Mechanik aus im Recht; auf der andern Seite aber bringt der Nachweis ihrer Zugehörigkeit zu den Krafträdern eine ganz wesentliche Vereinfachung und Klärung der Anschauungen mit sich.

---

*) Ueber die Siemens'schen Räder für Spritmessung s. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 966, sowie die „Vorläufigen Bestimmungen z. Ausf. d. Reichsgesetze betr. die Besteuerung des Branntweins“, Berlin 1887; der Siemens'sche Spritmesser hat noch die feine Zusatzeinrichtung, ausser der Räumte des durchgehenden Sprits auch noch dessen Grädigkeit zu messen; er hat eine ausserordentliche Verbreitung erlangt und sich ausgezeichnet bewährt.

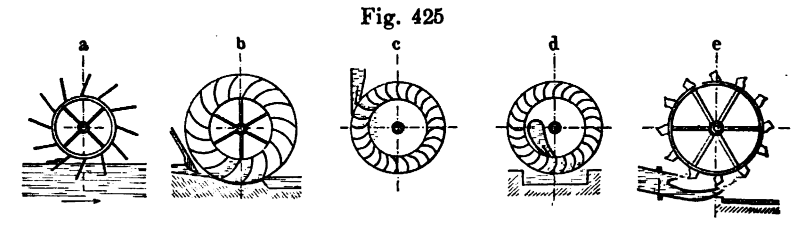
Die vier in Fig. 424 dargestellten Kapselradarten sind: a) das älteste, Pappenheim'sche, 6- und 6zähnig; b) das Payton'sche, 2- und 2zähnig; c) das Eve'sche, 3- und 1zähnig, $(Z_r F C)_3$; d) das Behrens'sche, 1- und 1zähnig *). Das Payton'sche ist als Wassermesser im Gebrauch, das Behrens'sche wurde von seinem Erfinder schon vor 1867 als Dampfmaschine benutzt, später von Dolgorucki zu demselben Zweck etwas weniger weitergebildet.

b) Dynamisch betriebene Fludräder

9) Flussrad, unter- und aussenschlächtig, Wasserrad.
10) Ponceletrad, unter- und aussenschlächtig, Wasserrad.
11) Zuppingerrad, Tangentialrad, aussenschlächtig, Wasserrad.
12) Schwamkrugrad, innenschlächtig, Wasserrad.
13) Girard'sches Rad, sogenannte *G.*-Turbine, seitenschlächtig, Wasserrad **).
14) Peltonrad, doppelt und seitenschlächtig, Wasserrad.
15) Lavalrad, Dampfrad, seitenschlächtig, Dampfmaschine.

Zu den oben aufgezählten acht Arten gesellen sich also hier noch weitere sieben, alle, unter Uebergehung von weniger wichtigen Radformen, einer und derselben Maschinengattung von der Triebformel $(Z_r F C)\frac{c}{b}$ angehörig, aber von jenen der „Art“

Fig. 425



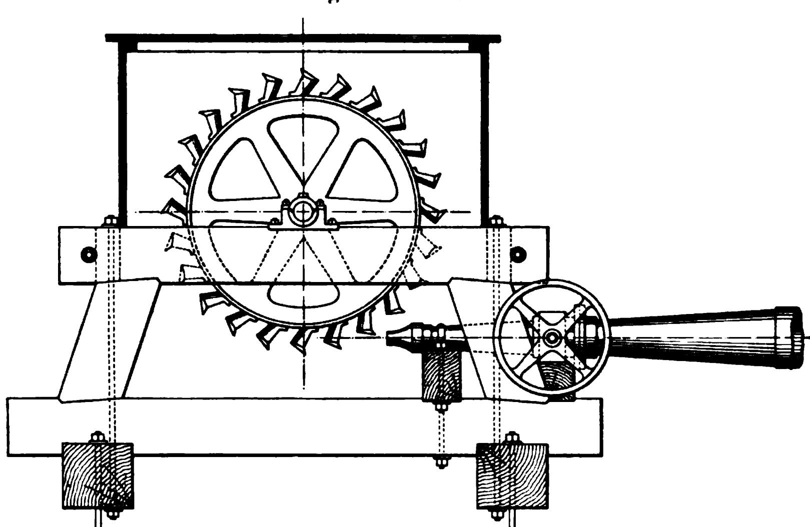
nach immerhin nicht unwesentlich verschieden. Denn die Räder Nummer 9 bis 14 müssen, um die lebendige Kraft des sie treibenden Fluds auszunutzen, in ihrer Verzahnung anders gebaut sein, als die statisch betriebenen; die Zahn- oder Schaufelbauart ist eigenthümlich zu behandeln. Denn das treibende Flud, sei es Wasser, sei es Dampf, oder sonst etwas, wirkt nicht in einem „Kanal“, d. h. geleitet zwischen dessen Wänden, sondern „drückt“ auf eine

*) Näheres s. Konstrukteur, IV. Aufl. S. 882 ff.

**) Es empfiehlt sich, die Endsilben des Personennamens Girard wie die von Richard und Bernhard auszusprechen, damit man den Namen Girardrad bilden kann.

Schaufel, die passend angeordnet und gestaltet ist. Das hat dazu geführt, die Maschinen Nummer 11 und 12 Druckturbinen zu nennen, nachdem man sie zuerst bloss als „Partialturbinen", Theile von „Vollturbinen", angesehen und behandelt hatte; letzteres war falsch, da man die sogenannten Druckturbinen ebenso gut ringsum beaufschlagen kann, wie die Strahlturbinen. Der Name Druckturbine ist soweit gut gewählt, vergl. S. 401, sobald man die Maschinen von Zuppinger und von Schwamkrug zu den Turbinen zählen will*). Bei der genaueren theoretischen wie

Fig. 426 Peltonrad



praktischen Untersuchung kam aber bald zum Vorschein, auch schon vor Girard, dass, ganz abweichend von den älteren Turbinen, Luftzuführung zu den Schaufelräumen und Ausfluss in

---

*) Im englischen Sprachgebiet unterscheidet man klar *reaction turbines* und *impulse turbines* und hebt sofort hervor (vergl. Bodmer, *Hydraulic motors*, London 1895), dass in letzteren die „freie Ablenkung" des Wasserstrahles unter stetigem Luftzutritt das Unterscheidungsmerkmal sei. Die Turbinen von Humphrey, Collins, Boyden u. A. sind Abarten der seitenschlächtigen Druckturbinen; es gibt dieser Nebenformen noch mehr. Zu den seitenschlächtigen Druckturbinen gehören auch die von den gräflich Stolbergischen Werken ausgeführten beiden Turbinen in der Kampmühle zu Varzin. Die in Fig. 159 dargestellten Niagaraturbinen sind dagegen seitenschlächtige Strahlturbinen.

Luft unbedingt erforderlich war, um die treibende Wasserschicht ungestört an der Schaufelwand hingleiten zu lassen. Zuppinger und Ziegler zeigten das mit Erfolg; bei Girard führte es zu der „Hy-dro-pneu-ma-ti-sa-ti-on“, einem durch ein ungeheuerliches Fremdwort sehr verdunkelten Begriff.

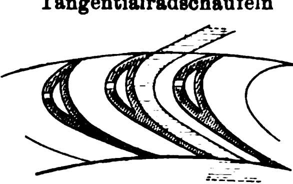


Fig. 427
Tangentialradschaufeln

Unsre kinematische Untersuchung leitet uns einfacher und auf ganz geradem Wege zum Ziel. Jenes Drücken auf die Schaufelwand entspricht genau, so genau wie bei der Ersetzung eines starren Elementes durch ein flüssiges nur möglich, dem Drücken des Zahnes der Zahnstange, oder des Radzahnes überhaupt, auf die Zahnflanke des getriebenen Rades. Auch bei den Zahnrädern bildet die „Zahnlücke“ keinen Kanal, sondern will nur der treibenden Zahnflanke eine ihrer Wände, welcher eine angemessene Form verliehen ist, entgegenstellen. Das wird ja beispielsweise besonders deutlich bei der „gemischten Verzahnung“, Fig. 428, bei der man der nicht gedrückten Zahnflanke eine Form gibt, die in erster Linie den Zahn fest macht, in zweiter den störenden Rückwärtsbewegungen vorbeugt; ganz ähnlich ist in der Schaufelung des Tangentialrades die Rückwand so gebaut, dass sie die Wasserschicht nicht berühren kann, aber durch die Flankenöffnungen ihr Luft zutreten lässt. Ein ganz ähnliches Verfahren ist aber zu erkennen schon vom alten unterschlächtigen Rade an, weiter zum mittel- und rückschlächtigen, wie oberschlächtigen, wo man von „Ventilation“ der Räder, aber nicht von „Hydropneumatisation“ spricht, und dann vom Flussrad bis zu Lavals Dampfrade. Immer drückt, in der ganzen Reihe der Fälle, der Fludstrom auf die mehr

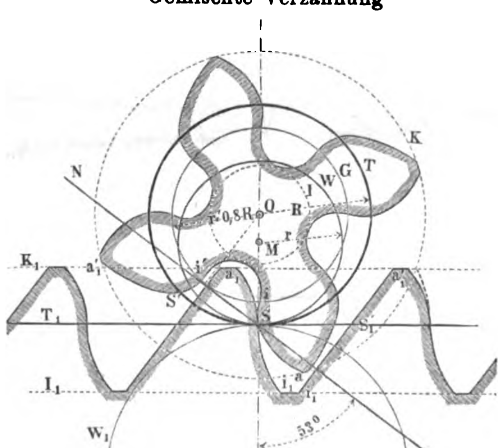


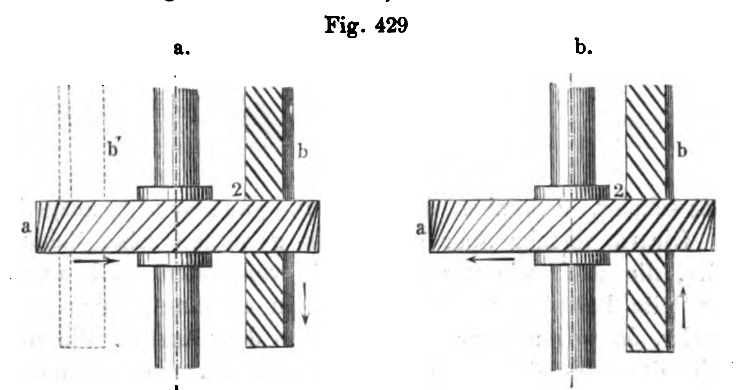
Fig. 428
Gemischte Verzahnung

oder weniger hohl gebogene Schaufelwand, was unter den älteren Rädern beim Ponceletrad am deutlichsten hervortritt. Deutlich erweist sich unter dieser Betrachtung die vorliegende Kraftmaschinenreihe als eine solche, die aus dem Zahnrädertrieb begrifflich ableitbar ist.

Damit stimmt auch überein, was das Sprachgefühl eingegeben hat und eingibt. Man nennt die besprochenen Maschinen mit unbezweifelbarer Vorliebe „Räder". Ohne jede Frage gilt dies von denen unter Fig. 425. Das Flussrad oder Schiffsmühlenrad Turbine zu nennen, versucht man nicht irgendwie. Vom Ponceletrad heisst es wohl gelegentlich und zögernd, es sei „eigentlich" eine Turbine. Zuppingers Tangentialrad kennt die Praxis nur unter dieser letzteren Bezeichnung, desgleichen das Peltonrad.

Bei den Girard'schen Rädern wurde man aber unsicher wegen der Beaufschlagung ringsum; diese Räder hielt oder hält man noch, in Anknüpfung an die ungeeignete Bezeichnung „Partialturbinen", für grundsätzlich verschieden von den Tangentialrädern, während sie doch Druckräder („Impuls-Räder", um mit den Amerikanern und Engländern zu reden) sind, wie diese, und nannte

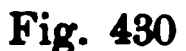
Fig. 429



sie deshalb wieder Turbinen*). Wir müssen die Sache ihrer Wichtigkeit wegen noch etwas näher betrachten.

*) Aus der Benennung Partialturbine ist schon mancher Irrthum geflossen, in den namentlich jüngere Ingenieure verfielen, indem sie Räder von der Art der theilweis beaufschlagten so behandelten, als ob ihre Radkanäle voll liefen; dies ist aber, obwohl der Name Partialturbine das besagt, nicht der Fall, weshalb der Gang ungünstig und verlustreich wird, während man geglaubt hatte, das Beste zu erzielen.

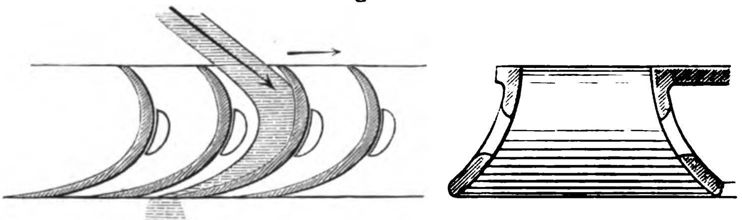
Das Rad mit Zahnstange, das wir oben in Fig. 421 vermöge Ersetzung der Zahnstange durch ein Flud in ein Fludrad umbildeten, braucht nicht Stirnräderverzahnung mit geradkantigen Zähnen zu haben, sondern kann auch ein Schraubenrad (vergl. S. 443) sein, s. Fig. 429, das von der Zahnstange als treibendem Gliede in dem einen oder andern Drehungssinne umgetrieben wird. Verwandelt man nun die Zahnstange in ein passend geführtes Flud, und macht dieses zum treibenden Gliede in dem Getriebe, so erhält man, wenn wir das Schraubenrad mit Z_s bezeichnen, den Trieb



$$(Z_s F C)_{\frac{c}{b}},$$

worin an die Stelle des früheren Z_r nur Z_s getreten ist. Der Zahnstangen kann man mehrere anbringen, wie unter a durch Punktirung angedeutet ist, ja kann das Rad ringsum damit besetzen, ohne im Wesen etwas zu ändern. Dieses „Wesen“ ist aber dasselbe, wie beim Zuppinger- und beim Schwamkrugrad, wo man ja auch mehrere Fludströme herumsetzt, obwohl man,

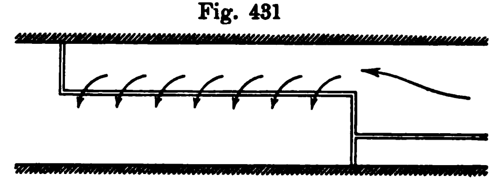
Fig. 430



wie es scheint, noch nicht die Besetzung ganz ringsum ausgeführt hat. Girard verfuhr aber so. Dabei geriethen seine Schaufelprofile, die nach wie vor Zahnprofile vorstellten, d. h. nur auf einer Seite beströmt werden sollten, in gedrängte Lage gegeneinander, da wegen der Schrägung nahe dem Ausfluss die Rückwände der Schaufeln den Druckflächen derselben bedenklich naherückten. Es drohte daher ein Anlegen der Wasserschicht an die Rückwände, womit denn ein schädlicher Gegendruck, auch ein Rücksprung in die „Strahlturbine“ stattgefunden haben würde. Girard wich dem aus durch den geschickten Kunstgriff, die in den Schaufelräumen fliessende Wasserschicht zu verdünnen, indem er sie verbreiterte, s. Fig. 430. Die Wassertheilchen behielten dabei ihre Laufschnelle — sie büssten nicht daran ein, wie man wohl angegeben findet —, ordneten sich aber

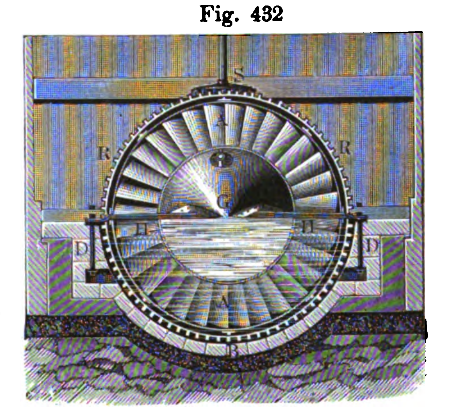
in dünnerer Schicht. Das Verhältniss ist sehr nahe dasselbe, wie das beim Wehrbau oft angewandte, s. Fig. 431, wo man die Wehrkrone statt quer zum Ufer, parallel zu demselben legt und sie zugleich bedeutend in die Länge zieht, um die Ueberfallschicht niedrig, dünn zu erhalten. Diese von Girard eingeführte Schichtverdünnung hilft die Bedingungen für die gute Wirkung des Wassers im Druckrad erfüllen. Wenn Girard gelegentlich diese Ausflussräume unter Druckluft setzt*), so sichert er dadurch nur noch bestimmter dem Rade die Eigenschaft als Druckrad.

Fig. 431



Dem gegenüber ist die Girard'sche Stromturbine, die wir schon S. 400 berührten, deutlich als Strahlturbine, d. h. als durch Reaktion oder Wasserprall wirkend, zu erkennen. Sie ist nur etwa halb beaufschlagt, s. Fig. 432, wäre also nach dem üblichen Sprachgebrauch eine Partialturbine, ist aber durchaus verschieden vom Zuppinger-, Schwamkrug- und Girardrad, die reine Druckräder sind. Will man die Stromturbine eine Partial-, besser Theilturbine nennen, so möge man dabei bleiben, weil ja „Turbine" dem Trieb mit gefüllten Kanälen entspricht. Mit dieser Begründung könnte man dann auch das Wort Vollturbine noch richtig umdeuten, indem man das „Voll" auf das Gefülltgehen der Kanäle bezöge.

Fig. 432



Eine Bemerkung sei noch angefügt. Es ist, dass man das Girardrad auch gemäfs Fig. 429 b von unten beaufschlagen, d. h. seine Aufschlagseite nach unten legen könnte. Das ist bisher meines Wissens noch nicht geschehen, würde aber die Annehmlichkeit bieten, dass man das Abströmen vor Augen hätte. Die Schichtverdünnung wäre

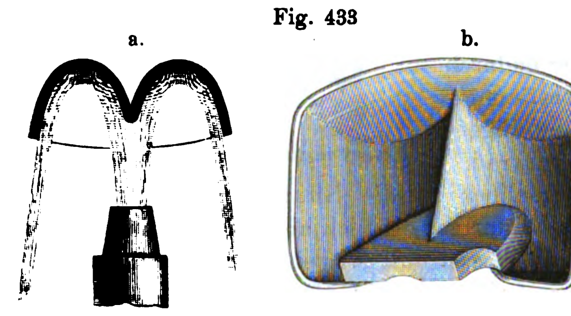
*) S. z. B. Weisbach-Herrmann, Ing.- u. Masch.-Mechanik, V. Aufl., II, 2, S. 497.

so einzurichten, dass die abfliessenden Wasser etwas nach aussen geleitet würden. Die Grösse des Aufschlagbogens könnte, wie sonst, veränderbar gemacht werden.

Das „Peltonrad“, Nr. 14 unsrer Aufzählung, erscheint nun deutlich als Druckrad. Seine Schaufeln, in Fig. 433 besonders dargestellt, sind so eingerichtet, dass die sie beströmenden zwei Wasserschichten, gebildet je aus der Hälfte eines rein cylindri-

Fig. 433

a. b.

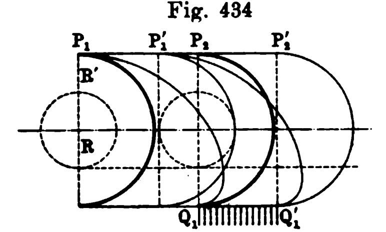


schen Strahls, sich rasch und stark verdünnen. Die Richtung des Fliessens der treibenden Wasserschichten wird sehr nahe um 180° gegen die Einströmungsrichtung gewendet, sodass sich die Umfangsschnelle c des Rades, bei der das Aufschlagwasser völlig entkräftet abfliesst, mit grosser Annäherung = der Hälfte der Zutrittschnelle v ergibt*).

Dieser Laufschnelle $c = \frac{1}{2} v = \frac{1}{2} \sqrt{2gh'}$, wenn h' die „wirksame“ Gefällhöhe bezeichnet, sind die Widerstände, die Aufschlagwassermenge und die Räderübersetzungen anzupassen (vergl. S. 491).

*) S. Zeitschr. d. Ver. D. Ingenieure 1892, S. 1181 ff., Reuleaux, Vortrag über das Peltonrad. — Betrachtet man die Schaufelprofile in Fig. 433 b als volle Halbkreise und den kurzen Schaufelweg als eben, so werden die Bahnen der Wassertheilchen Orthocykloiden, und zwar „verlängerte“, wie Kurve (2) in Fig. 58, S. 71, vergl. nebenstehende Fig. 434, weil die Schnelle im Kreise doppelt so gross ist, als die des Mittelpunktes. Die zuerst eintretenden Theilchen erreichen schon unter dem kurzen Schaufelweg $P_1 P_2 = \pi/_2 R'$ auf ihrem cykloidischen Wege das Schaufel-Ende Q_1, die zuletzt, z. B. bei P'_1, eintretenden Theilchen nach Vollendung des Schaufelweges $P'_1 P'_2$ bei Q'_1; das Abtriefen des, wie angenommen werde, entkräfteten Wassers findet auf dem Wege $Q_1 Q'_1$ statt.

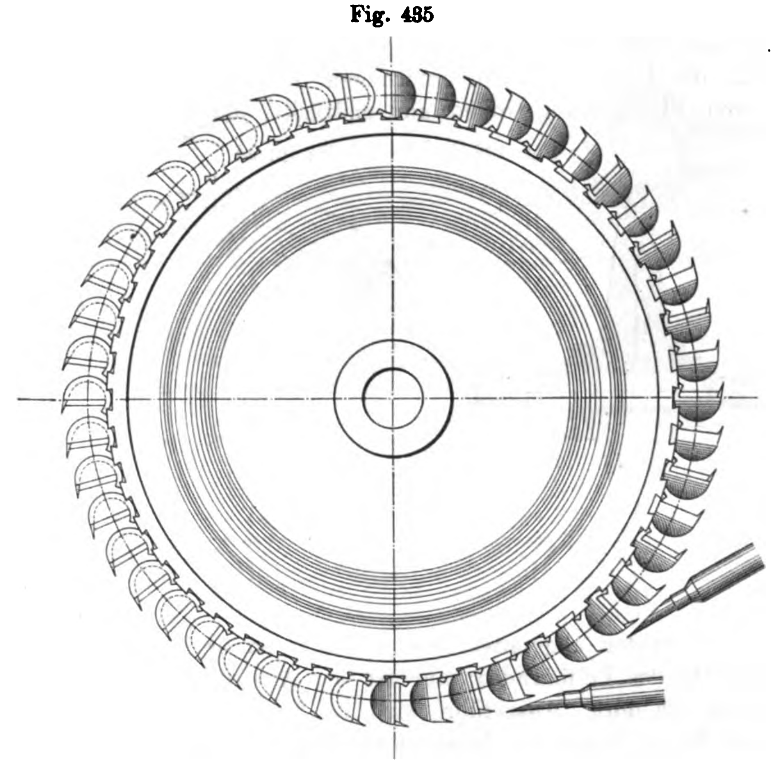
Fig. 434



Langsam musste man sich zu dieser Klärung durcharbeiten. Das sieht man noch an der Ausführung, die der kenntnissreiche und erfinderische Oberbergrath Althans d. Aelt. in der Jugendzeit der Turbinen dem Segner'schen Wasserrade gab*), indem er das zu schnell abfliessende Wasser ein zweites Rad treiben liess, statt die Uebersetzungszahl entsprechend zu ändern.

Peltonräder werden jetzt auch bei uns gebaut, und zwar von Briegleb, Hansen & Cie in Gotha, von H. Breuer & Cie in Höchst

Fig. 435



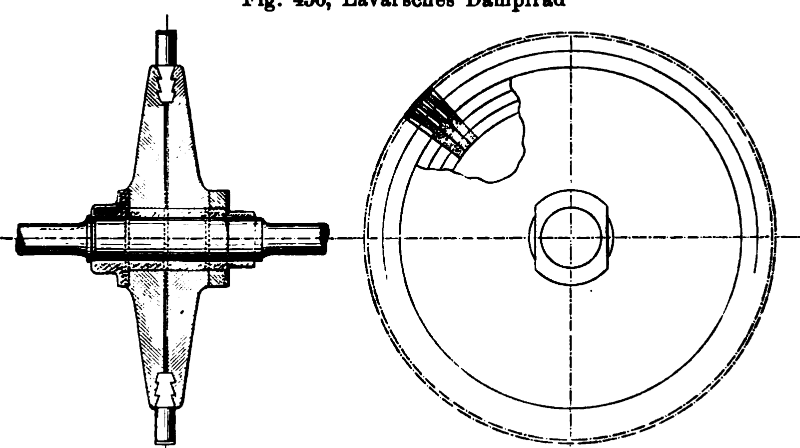
a. M. und von Ganz & Cie in Pest. Die ersteren haben u. a. durch Bremsversuche an einem 76pferdigen Rade 84—88/100 Wirkungsgrad ermittelt; dieser zeigt sich stark abhängig von der Düsenweite. J. J. Rieter & Cie ermittelten an einem Breuer'schen Rade 81/100 als Wirkungsgrad, Ganz & Cie fanden 81—88/100. Kleinere, schwächere Räder haben nicht so günstige Zahlen ge-

*) S. Weisbach, Ing. u. Masch.-Mechanik, III. Aufl., 1859, Bd. II, S. 595; ebenda IV. Aufl. S. 636.

liefert, als stärkere. In Amerika hat Cazin*) versucht, durch besonders feine Ausbildung der Schaufelform und enge Schaufelstellung den Wirkungsgrad des Rades noch etwas zu steigern, Fig. 435. Durchweg zeigen die Versuche von drüben wie von hüben, dass das Rad vorzüglich brauchbar ist, entgegen den Zweifeln, die gleich nach dem Erscheinen meines angeführten Vortrages an der Veröffentlichungsstelle geäussert wurden.

Die Laval'sche Dampfmaschine, Fig. 436, hat man wohl auch eine Dampfturbine genannt; das ist aber nicht glücklich, man muss sie nach dem Besprochenen ein Dampfrad nennen. Denn die Laval'schen rinnenförmigen Schaufeln werden gerade so vom Fludstrom getroffen und gedrückt, der Strom wird ge-

Fig. 436, Laval'sches Dampfrad

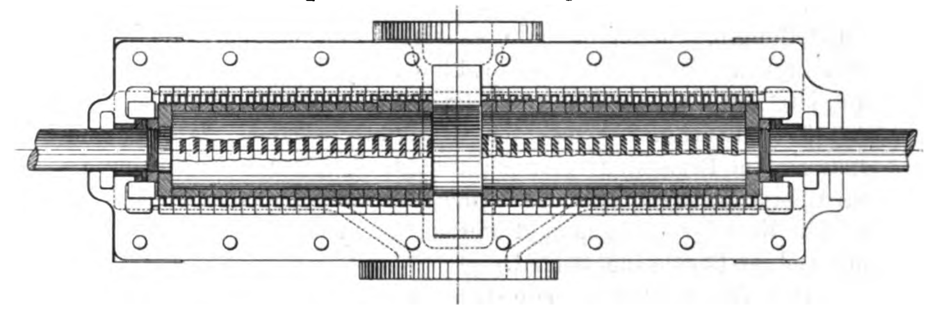


rade so wieder abgeleitet, wie bei den zu zweien vereinigten Schaufeln des Peltonrades; nur ist der Austrittswinkel nicht so günstig wie dort. Ausgeführt wird bei uns das Rad in vorzüglicher Weise durch die Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk. Das in Fig. 436 dargestellte Rad ist einer 30pferdigen Maschine entnommen; es hat 198 mm mittleren Durchmesser und läuft 15000mal in der Minute um; Zahnräderübersetzung setzt die Umlaufzahl zunächst auf den zehnten Theil herab. Die Schaufelhöhlung ist kreisbogenförmig und umfasst 120°. Ein 100pferdiges Rad aus derselben Anstalt macht 13000, ein 50pferdiges 16400 Umläufe in der Minute.

*) Von der *American Impulse-Wheel Company* in Neuyork.

Unsre Untersuchung klärt auch bestimmt auf, wodurch sich die Laval'sche Dampfmaschine von der Parsons'schen, die ziemlich im selben Lauf der Jahre erfunden worden ist, unterscheidet. Erstere ist ein Druckrad, letztere eine wirkliche echte, und zwar mehrfache Turbine, ein Strahlrad, das aus dem Schraubentrieb $(\tilde{S}_2 F)\frac{c}{b}$ gemäſs den Ausführungen in §. 55 allgemein, und S. 389 insbesondere abgeleitet ist. Die folgende Figur stellt sie dar.

Fig. 437, Parsons'sche Dampfturbine



Der Fludschraubentrieb ist hier in einer grossen Anzahl von Stufen wirksam, nach deren jeder der Fludstrang wieder von Drehung befreit wird. Insbesondere hat Parsons hier Zwiselschraubentrieb benutzt, um Längsdruck auf die Lager zu vermeiden; die Längspressungen auf die 38 Schaufelkränze heben sich gegenseitig auf*). Die wichtigste Anwendung der Turbine hat Parsons selbst auf dem Dampferchen Turbinia gemacht. Dieses kleine Schiff, 100′ lang, 9′ breit und 3′ tief gehend, 44½ Tonnen verdrängend, ist mit 3 Parsons'schen Dampfturbinen der oben dargestellten Bauart ausgerüstet, einer Hoch-, einer Mittel- und einer Niederdruckturbine, die im Verbund arbeiten, und die Dampfspannung stufenweis von 170 ℔ oder 11⅓ at auf 1 ℔/□″ oder ²⁄₁₅ at herabsetzen; mit dieser letzteren Spannung fliesst der Dampf in den Kondensator. Jede der drei Turbinen, von denen die mit Niederdruck arbeitende die grösste ist, und zwar 3′ im Durchmesser hat, trägt auf dem äusseren Fortsatz ihrer leicht geneigten Welle 3 Triebschrauben, sodass deren im Ganzen 9 Stück das Schiff fortbewegen; bei ganzer Kraft machen sie 2200 Runden minutlich und geben dem Schiff eine Fahrt von 32¾ Knoten. Arbeitsstärke insgesammt 2100 *PS* ind., Dampfverbrauch nach P.'s Angabe 14,5 ℔ oder 6,68 kg auf die *PS*. Parsons erwähnte Patente sind jüngst um sieben Jahre verlängert worden.

Die Parsons-Turbine hat inzwischen schon ihren Weg in den allgemeinen Maschinenbau gefunden. Drei Stück von je 500 *PS*

---

*) S. die engl. Patentschriften 6735/1884, 5512/1887 und 1120/1890; ausserdem den 1897 von Parsons in der *Inst. of Civil Engineers* gehaltenen Vortrag über: „Vor- und Nachtheile der rotirenden und hin- und hergehenden Dampfmaschinen für Schiffsbetrieb“, wiedergegeben im Engineering vom 4./6. 1897, sowie eine fernere Mittheilung im Engineering vom 2./7. 1897.

werden soeben bei der Westinghouse-Maschinen-Gesellschaft in Pittsburg für die Westinghouse-Bremsen-Gesellschaft in Wilmerding, Pennsylvanien, gebaut; sie sollen elektrischen Strom für Licht und für Kraftübertragung liefern. Dieselbe Gesellschaft baut*) eine 2500pferdige Parsons'sche Turbine für die Vereinigte Licht- und Kraftgesellschaft in Neuyork, und zwar ist diese Turbine die erste von fünf gleich grossen, die in Auftrag gegeben sind. Aufgestellt sollen sie werden an der 28. Strasse und dem East-River. Die fünf Turbinen, von zusammen 12500 *PS*, nehmen am Aufstellungsort ungefähr halb so viel Raum ein, als die acht Westinghouse-Maschinen von je 1200 *PS* nebst Stromerzeugern, die jetzt an der Station im Betrieb sind. Die in England an den Parsonsturbinen gemachten Erfahrungen haben dieselbe als sparsam im Brennstoffverbrauch gezeigt; als einer ihrer Vortheile wird hervorgehoben, dass das niedergeschlagene Wasser unbesorgt in den Kessel zurückgepumpt werden kann, da der Dampf nicht mit Oel in Berührung kommt.

Das Vorausgehende erweist, dass die Schaufelformen unsrer statischen wie dynamischen Fludräder den Flankenformen der Zahnräder thatsächlich entsprechen. Es erinnert gleichsam hieran, dass im Ponceletrade die Wassertheilchen beim Erklimmen und Verlassen der von ihnen gedrückten Schaufelfläche sich in Orthocykloiden bewegen, wie schon Poncelet zeigte. Bei den Kapselrädern sind somit auch, vom kinematischen Standpunkt betrachtet, die Zahnkurven nichts zu den Fludrädern Hinzukommendes, sondern nur eine besondere Ausbildung von schon Vorhandenem; die Forderung, sie mehr oder weniger spielfrei arbeiten zu lassen, tritt gelegentlich noch hinzu, wovon unten, S. 511, mehr. Dass man aber andrerseits von der Strenge in dieser Richtung auch etwas nachlassen kann, zeigen schon die Kropfräder.

Noch könnte endlich die Frage aufgeworfen werden, ob man nicht strenger zwischen den statischen und den dynamischen Fludrädern zu unterscheiden habe. Die Frage ist aber bestimmt zu verneinen, da die beiden Betriebsarten mehrfach in einander übergehen. Dies lehrt schon der Vergleich zwischen Flussrad und unterschlächtigem Kropfrad, aber auch das Kapselräderwerk,

---

*) Nach Engineering News, siehe Scientific American Supplement vom 21. Januar 1899, S. 19285.

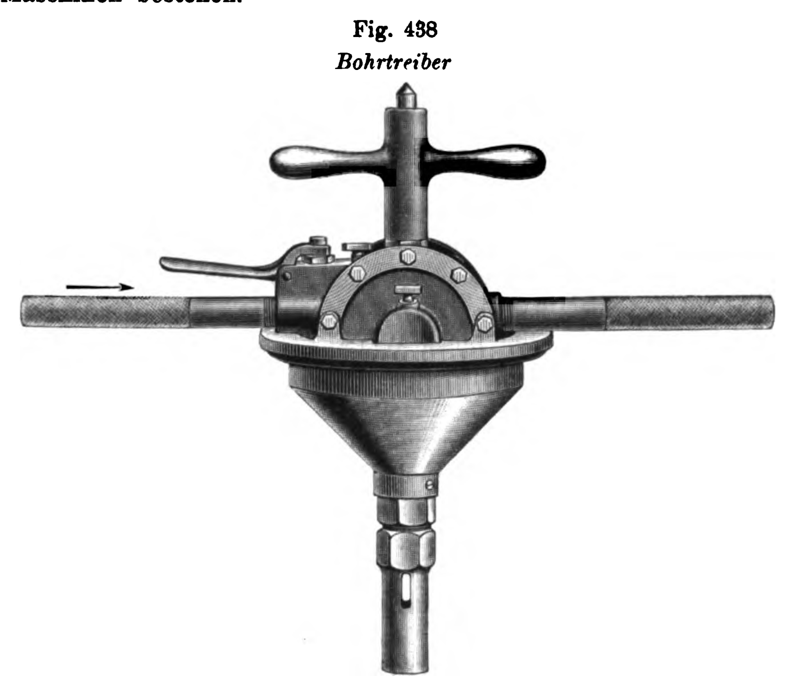
das gar keinen Unterschied in seinem Hauptbau zeigt, ob es statisch, ob dynamisch betrieben wird.

So sehen wir denn, indem wir das Vorstehende zusammenhalten mit dem, was wir in §. 55 von den eigentlichen Turbinen fanden, von denen wir nun die sogenannten Druckturbinen wirklich abtrennen, dass:

die Wasserräder Flud-Rädertriebe,
die Turbinen Flud-Schraubentriebe

sind, dass sie also zwei, den Grundlagen nach verschiedenen von den sechs „Trieben“ angehören, aus denen (vergl. S. 372) alle Maschinen bestehen.

Fig. 438
Bohrtreiber



Einen bemerkenswerthen Aufschwung in der Benutzung von zunächst kleineren Flud-Krafträdern hat die Verbreitung der Pressluftanlagen in den Vereinigten Staaten gegeben. Aus einer Rohrleitung, die von einem hoch gespannten Presslufthalter gespeist wird, entnimmt man mit Gummischläuchen Pressluft zum Betrieb kleinerer Kraftmaschinchen, die mittel- oder unmittelbar Werkzeuge treiben. Es ist das wieder, nebenbei bemerkt, eine Stelle, an der man den Begriff „Kraftmaschine“ seine ehemalige

Bestimmtheit verlieren sieht (vergl. S. 489). Fig. 438 stellt eine so betriebene Bohrmaschine von Haeseler & Cie in Philadelphia dar. Solche Maschinchen — Bohrtreiber kann man sie nennen — finden in zunehmendem Maſse Anwendung im Schiffbau, auch im Dampfkesselbau, da nämlich, wo es sich darum handelt, die Nietlöcher zu bohren, statt sie auf der Lochpresse herzustellen, eine Forderung, die im deutschen Dampfkesselbau bei der zunehmenden Verwendung von Fluſseisen die Regel zu werden alle Aussicht hat. Immer freier wird man in der Einschiebung solcher unvermittelt ein Werkzeug treibenden Maschinchen*). Das genannte Geschäftshaus, auch die *Pneumatic tool Company* in Chicago und Neuyork verbreitet fortwährend neue derartige Hülfsmittel, die da, wo einmal die Pressluft zur Verfügung steht, ausserordentliche Erleichterungen schaffen und im Wettbewerb mit der Elektrik diese vielfach an Annehmlichkeit des Betriebs übertreffen, aber auch andrerseits von ihr die Vereinzelung der Kraftübertragung angenommen haben.

Thatsächlich hat überhaupt die Flud-Kraftleitung eine ganz nahe Verwandtschaft mit der elektrischen Kraftleitung. Denn wie diese stellt sie in langen, leicht verzweigbaren Leitungen einen gespannten, fast reibungslos nachfliessenden Kraftträger, dessen Arbeitsvermögen einem Wärme- oder Wassergefälle entnommen ist, zur Verfügung. Die Fernleitung von Dampf, dazu ebenfalls in Bergwerken bestimmt gewesen, hat sich nicht bewährt, da sie durch Wärmeleitung zu grosse Verluste erlitt; Pressluft und Presswasser sind diesen nicht ausgesetzt. Die erwähnte Freiheit in der Benutzung der Kraftmittel sehen wir u. a. auch in unsren Kohlengruben Platz greifen. Man hat eingesehen, dass das von den Wasserhaltungsmaschinen gehobene Wasser, wenn in geringen Mengen durch Röhrenfahrten wieder hinabgeleitet, einen vorzüglichen Kraftträger abgibt; die Aehnlichkeit mit dem Hochdruckhalter (S. 351) liegt ja nahe. Dieser flüssige Kraftträger lässt sich vortrefflich zum Betrieb von Peltonrädern benutzen, wie im Neunkircher Revier neuerdings geschieht, wo man mit 300 m Fallhöhe Fördermaschinen — man nennt sie schon Peltonhäspel — unter Tag betreibt. Zwei Peltonräder von gegensinniger Drehrichtung, auf dieselbe Welle gesetzt, liefern

*) Es sei nicht vergessen, dass Werder beim Bau der oberen Mainzer Rheinbrücke schon 1858 ähnliche Bohrmaschinchen mit Wasserbetrieb anwandte.



unter blosser Hahnverstellung die erforderliche Kehrdrehung, s. Fig. 439.

Der Pressluftbetrieb, der im Tunnelbau für die Dubois-François'sche Stossbohrmaschine gebraucht wurde, weicht jetzt dem Presswasserbetrieb im Simplontunnel, wo die Brand'sche Bohrmaschine*) mit ihrem stosslosen, also statischen Betrieb die längst verdiente Anerkennung erfährt. Jene kleinen Wasserradtriebe, die, aus Hausleitungen gespeist, den Aerzten zu mancherlei Betrieben dienen, haben zur Verbreitung des Kraftleitungsgedankens nicht unwesentlich beigetragen; neuerdings wendet man solche Rädchen, die in dicht geschlossenem Gehäuse wirken, zum

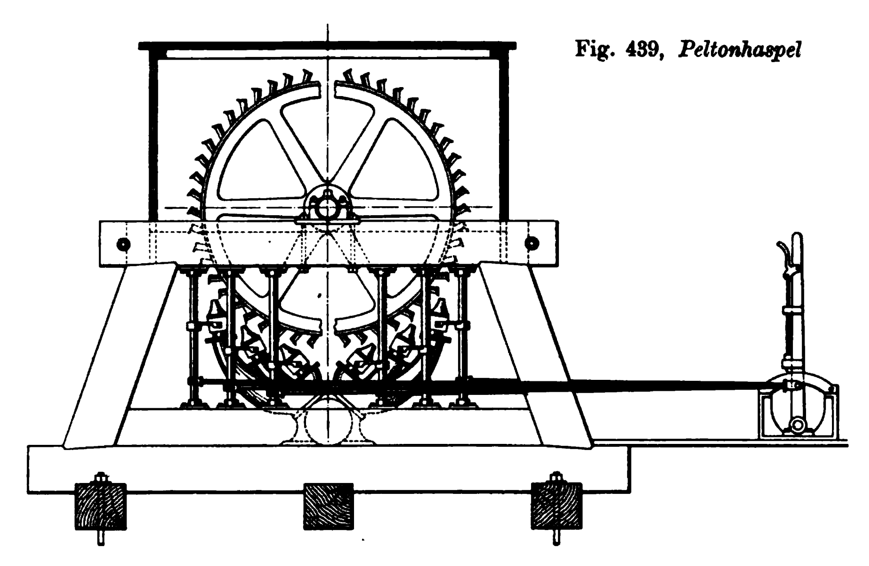


Fig. 439, *Peltonhaspel*

Betrieb von Windfachen im Privathause an**). So dienen Presswasser und Pressluft in schnell steigendem Grade zum Treiben von Fludrädern. Es darf erwartet werden, dass auch unsre Industrie die zur Zeit noch weniger benutzte Pressluft sich bald allgemeiner zu Nutze machen wird. Dass aus den vielen Neugestaltungen und Vermehrungen die Nothwendigkeit folgt, in den Begriffsbestimmungen (Definitionen) sorgfältiger zu verfahren, ist einleuchtend. Es gibt, wie wir gesehen haben (S. 372), nur sechs

*) S. Henry Robinson, Hydraulic power and hydraulic machinery, London 1887, S. 147, Taf. 39 und 40.

**) S. Scientific American vom 20. August 1898.

Klassen von Maschinentrieben; die bestimmte Zuweisung zu der einen oder andern ist deshalb nur eine Erleichterung für das Verständniss der immer zahlreicher werdenden Maschinenarten.

Aus dem Verlauf unsrer Untersuchungen geht auch hervor, dass die ältere, immer noch vorkommende Eintheilung der Wasserkrafträder in stehende und liegende („vertikale“ und „horizontale“) völlig hinfällig ist, da man die Turbinen ganz nach Bedarf stehend, liegend oder geneigt — man vergleiche Parsons — anwendet. Die Erfindernamen, die oben gebraucht wurden, sollten nur zur „Arten“-Bezeichnung dienen, keineswegs ein Verzeichniss der betheiligten Ingenieure darstellen; die werthvollen Einzelverdienste in dieser Richtung hervorzuheben, ist nicht sowohl Sache der Zwanglauflehre, als der Maschinen-Baukunde.

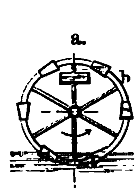
§. 77

Flud-Treibungsräder, Formel $(Z_r F C)_{\frac{c}{a}}$

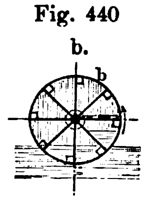
Bei den Rädern, die dazu bestimmt sind, ein Flud zu treiben, tritt grosse Aehnlichkeit mit den vorhin besprochenen Rädern, aber auch eine sehr bemerkenswerthe Unähnlichkeit hervor.

Fig. 440

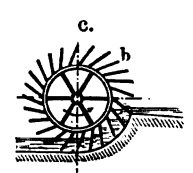
a.



b.



c.



Statisch treibende Fludräder

1) Schöpfrad, Kübelrad, Zellenrad, hoch ausschüttend.
2) Tympanon, Trommelrad, mittelhoch ausschüttend.
3) Wurfrad, Kropfrad, tief bis mittelhoch ausschüttend.
4) Kratzrad (Strombaurad), am Grund schüttend.
5) Kapselräderwerk, auf beliebiger Höhe schüttend.

Die drei ersten dieser Fludtreibungsräder sind schon oben, S. 220 ff., dargestellt und allgemein besprochen; das „Schöpfrad“ ist im westlichen und im östlichen Asien seit uralter Zeit im Gebrauch, während es in Indien gänzlich fehlt, wahrscheinlich wegen des langsamen Laufes der dortigen Flüsse. Erwähnt wurde

S. 222 das chinesische, ganz aus Bambus gebaute kleine Schöpfrad. Mit recht grossen derartigen Rädern hat uns das neuere Vordringen der Franzosen in Annam in Hinterindien bekannt gemacht. 10 m hohe Schöpfräder, zu zweien, vieren, ja achten nebeneinander, sind dort häufig *). Wenn diese Räder aus rasch laufenden Flüssen schöpfen, so sind sie zugleich als Flussräder (S. 494) gebaut, nämlich mit breiten Schaufeln aus Mattengeflecht ausgerüstet; am Umfang sind zwischen diesen in schräger Richtung Bambusabschnitte als Kübel angebracht, die sich nahe dem Radscheitel leeren; Umfangsschnelle dieser Räder etwa $^3/_4$ m. Wo es an treibendem Gefälle fehlt, wird das Rad kleiner gebaut und mittelst Stiergöpels umgetrieben; noch kleinere Räder werden als Treträder von Menschen bewegt, überall aber im Lande der Annamiten wird Bewässerung gepflegt. Schöpfräder mit hölzernen Kübeln finden auch in Deutschland Anwendung.

Das „Tympanon" oder Trommelrad mit Göpelbetrieb findet sich ziemlich häufig in Südeuropa und am Nordrande Afrikas **).

Das dritte Rad, das „Wurfrad", hat man mit in die neuesten Be- und Entwässerungsanlagen herübergenommen und sorgfältig ausgebildet. Wichtige Beispiele wurden oben bei den Haltungen, S. 362, angeführt. Die Verwandlung des Kropfrades Nr. 3 in das Wurfrad durch blosse Vertauschung des treibenden Kettengliedes Wasser mit dem getriebenen Kettengliede Rad wird beim Sagebien-Rade ***) besonders klar, indem man es bei derselben Ausführung, je nach der Drehrichtung, als Kraftrad wie als Heberad gebrauchen kann. Das Grundsätzliche des Wechsels von treibendem und getriebenem Glied im Mechanismus tritt hier in helles Licht.

Das „Kratzrad" wird im Strombau zum Auflockern kiesigen und sandigen Flussgrundes benutzt. Es greift mit spitzen und

---

*) Schöne Abbildungen hat die Pariser *Illustration* 1898 gebracht; sie sind wiedergegeben im Sc. American Supplement vom 8. Oktober desselben Jahres. Modell aus Britisch-Birma im Völkermuseum in Berlin, Geschenk von Dr. Jagor.

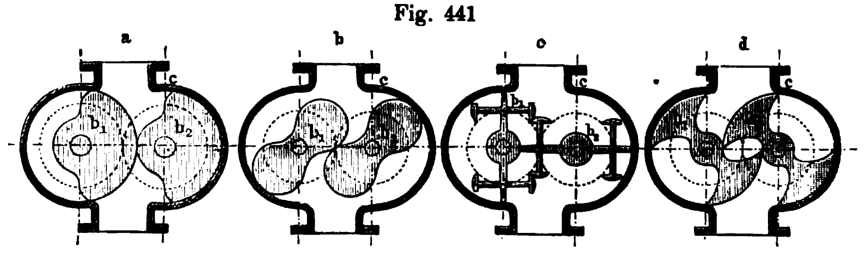
**) Ein von Cavé sehr schön und völlig modern ausgeführtes Trommelrad s. in Weisbach-Herrmanns Ing.- u. Masch.-Mechanik III, 2, S. 794. — Wohl das grösste bestehende Trommelrad ist das in der Chesapeake City in Pennsylvanien. Es hat 39′ Durchmesser bei 10′ lichter Breite, und hebt in der Stunde 200000 Kb′ Wasser $18^3/_4$′ hoch. S. Civilingenieur 1854, S. 32.

***) S. Annales des ponts et chaussées 1858, auch Weisbach-Herrmann, Ing.- u. Masch.-Mechanik II, 2, S. 313; ferner Konstrukteur, IV. Aufl. S. 887.

leicht gekrümmten Zähnen in die Geschiebebänke ein und wirft das Aufgelockerte lose hinter sich, sodass die Stromtrift es wegführen kann. Deutlich sind Zahnrad Z_r, das Gestell mit Zapfenlagerung C auf einem Schiff, einer Ponte, und das Flud F in der körnerigen Form (S. 164 und 271) zu erkennen. Der Betrieb des Kratzrades findet manchmal durch Dampf, gelegentlich aber auch durch Wasser, durch den Strom selbst statt, zu welchem Ende es dann mit Flussradschaufeln ausgerüstet ist; Kraftrad und Treibungsrad sind dann wieder eng vereinigt, wie bei dem Schöpfrad, S. 221, oder den oben erwähnten chinesischen und annamitischen Bambusrädern.

„Kapselräderwerke“, siehe Fig. 441, werden vielfach zum Treiben von Flüssigkeiten, auch breiigen Stoffen, wie Maische, Papierzeug usw., also recht allgemein als Flud-Treibräder benutzt.

Fig. 441



a Repsold'sche Pumpe *) mit 1- und 1zähnigen Fludrädern; b Root'scher „Bläser“, 2- und 2zähnig; c Fabry'sches Wetterrad, viel älter als Roots Bläser, aber gleichsam ein Ausschnitt aus ihm; d anderer Root'scher Bläser, am Rande mit niederem Paarschluss, Cylinderpaarung, die Kapsel berührend. Andere Formen von Kapselpumpen s. Konstrukteur.

Bemerkenswerth ist, dass auch hier kein wesentlicher Unterschied zwischen den Kraft- und den Treibrädern besteht; man kann sie so oder so gebrauchen, gestellt auf c, getrieben durch a, oder getrieben durch b, ein Umstand, der wiederum recht geeignet ist, die Sicherheit der kinematischen Untersuchung, die ja zum selben Ergebniss hinführt, erkennbar zu machen.

Unsre neuere Technik, die gelernt hat, spielfreie Verzahnungen auszuführen (S. 460 ff.), hat daraus für die Kapselräder Nutzen ge-

*) Von ihr meinte Weisbach noch 1851, Mechanik III, 2, S. 844, die beiden Räder, die wir als einzähnige erkennen, seien keine Zahnräder, sondern „Exzentriks“, ein Wort, das auch heute noch von Manchen wie ein weiter Sack gebraucht wird, in den man allerlei hineinpacken kann.

zogen. Bei den neuen Maschinen zum Bohren der Gewehrläufe verwenden Ludw. Löwe & Cie die Kapselradpumpe — es ist mehr oder weniger die Pappenheim'sche —, um der Bohrerschneide Oel zuzuführen. Die Pumpe gibt dabei dem Oel, dem getriebenen Flud, eine Spannung von 50 Atmosphären*). Vermöge dieser Spannung treibt das Oel die Bohrspähne durch den, dem Bohrerschaft eingeschnittenen tiefen und steilen Schraubengang wirksam hinaus.

Die behandelten Beispiele werden genügen. Wir kämen jetzt zu der Frage der

dynamisch treibenden Fludräder.

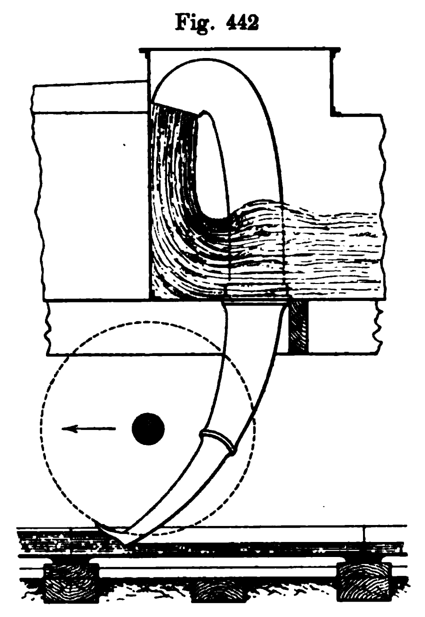
Damit aber steht es eigenthümlich, indem es im allgemeinen solche nicht gibt. Versuchen wir nur, aus den dynamisch betriebenen Kraft-Fludrädern von S. 494, Formel $(Z_r F C)\frac{c}{b}$, Treibräder zu bilden, also unter Beibehaltung des Aufstellungsgliedes c das Glied a, das Rad, zum treibenden Glied zu machen, so überzeugen wir uns bald, dass das nicht gelingt. Weder das Flussrad, noch Poncelets, Zuppingers, Schwamkrugs, Girards, Peltons, noch Lavals Rad vermag die treibende Fludschicht zurückzutreiben in das Mundstück, die Düse, oder (beim Flussrad) in die weite, kraftschlüssige Flut. Die niedrige, durch lebendige Kraft zusammengehaltene Schicht kann wohl eine Schaufel drückend treiben, nicht aber vermag die Schaufel, sie aus der Fludmasse herauszuschöpfen und darauf tangential zurückzutreiben. Denn die Schichtbildung gieng vermöge Einschiebung eines Leitstücks, einer Düse, vor sich, und zwar unter beträchtlicher Schnelle der Fludtheilchen. Diese umgekehrt aus der Ruhe mittelst einer Schaufel in die rückläufige Bewegung zu versetzen und zugleich in Schichten einzutheilen, die gesondert nach den Mündungen der Düsen zu schleudern wären, gelingt nicht. Ramsbottoms Tenderspeiser, Fig. 412 a. f. S., entgegenzustellen, würde unrichtig sein. Denn bei diesem ist das Schöpfrohr, das aus der Rinne zwischen den Schienen Wasser aufnimmt, gleichsam ein Kanal aus einer Spiralpumpe, s. oben S. 342, wenn derselben ein Halbmesser wie der der Erde zugeschrieben wird; wie dort wird der Kanal gegen das ruhende Wasser bewegt.

*) Modell mit Manometer in der kinematischen Sammlung der Techn. Hochschule zu Berlin.



In diesem, gefüllt gehenden Leitrohr steigt die Flüssigkeit auf; nicht aber bildet sie eine Schicht, die auf einer Fläche emporsteigt. Hier bestätigt sich, dass die oben schon zweimal berührte Frage, ob statische und dynamische Wirkung scharf zu trennen sei, nicht anders beantwortet werden konnte, als verneinend, wie geschehen ist. Ebenso erweist sich hier als richtig, dass wir die Druckräder von den Turbinen theoretisch getrennt haben. Denn die Turbinen lassen alle den umgewandelten Betrieb, die Wandlung von Kraftrad in Treibrad, zu und erweisen sich dadurch als einer andern Triebklasse angehörig.

Fig. 442



Man könnte noch einwerfen, dass die Kapselräderwerke, wenn als Fludtreibungsräder sehr schnell betrieben, dem Flud dynamische Eigenschaften mitgeben, gemäfs denen z. B. der angesaugte Fludstrom im Gange bleibt, wenn auch bei den Uebergängen die Radzähne nicht saugen oder drücken, ja, dass man deshalb die Radzähne an Pumpen, wie die unter d, abrunden, unter Umständen weit abrunden solle, um Stösse zu vermeiden. Diese Abrundung ist aber schon bei ganz langsamem Gang behufs Vermeidung von Quetschungen der aufgenommenen Fludmenge nöthig *), würde also nur dem Grade nach etwas weiter getrieben werden. Die Erbauer von Kapselradpumpen bringen diese Abrundungen an schnellgehenden Kapselwerken mit Sorgfalt an und erzielen dadurch sehr gute Erfolge; zu einer Scheidung der Kapselradwerke in statisch und dynamisch wirkende gibt aber das Verfahren keine Veranlassung **).

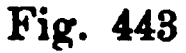
*) Auf diese Uebergangsspielräume wurde vom Verf. schon in seiner ersten Veröffentlichung in den Berliner Verhandlungen 1868 aufmerksam gemacht.

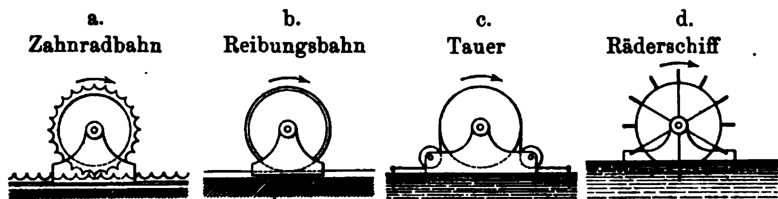
**) Der Leser hat vielleicht in der nunmehr beendigten Besprechung der Turbinen und Wasserräder die Bezeichnungen „Aktion“ und „Reaktion“, sowie „Radial“ und „Axial“ als Bestimmungswörter für Wasserkrafträder

§. 78

Fludräder als Schiffstreiber, Formel $(Z_r F C)\frac{b}{a}$

Von den sechs Trieben, die gemäfs S. 372 aus der kinematischen Kette $(Z_r F C)$ bildbar sind, ist noch einer wichtig und in Benutzung, nämlich derjenige, der erhalten wird, wenn man Rad


Fig. 443



und Radträger beweglich auf dem Flud *b* und das Rad *a* zum treibenden Gliede macht, sodass die Triebformel wird: $(Z_r F C)\frac{b}{a}$.

Gehen wir für einen Augenblick zurück auf das ursprüngliche Zahnstangengetriebe von Fig. 421, S. 488, dessen Formel zu lauten hatte: $(Z_r P_s C)\frac{b}{a}$, so sehen wir daraus den Haupttrieb

---

verschiedener Gattungen und Arten vermisst. Ich habe sie nicht angewandt, weil sie meines Erachtens nicht gut sind, ganz abgesehen davon, dass sie als Fremdwörter nicht ohne weiteres klar sind. Aus „Reaktion", was in der Wasserkrafttechnik durch Prall, Rückprall, Wasserprall wiederzugeben wäre, ist „Aktion" erst ganz spät für gewisse Turbinen gebildet worden. Das Wort ist matt und unbefriedigend, weil es nicht eindeutig ist. Denn auch Reaktion ist eine Aktion; wo „Aktion" bei Kreiselradbeschreibung gebraucht wird, steht sie auch nicht in einem Gegensatz, etwa der Richtung zu „Reaktion"; beide sind nur verschieden voneinander, nicht aber entgegengesetzt, wie S. 494 noch besonders hervorgehoben wurde.

Noch weniger, als die beiden genannten Fremdwörter sind nach meiner Meinung „Axial" und „Radial" hier empfehlenswerth. Sie nehmen sich ebenso wichtig aus wie jene, wozu ihr geometrischer Schein noch beiträgt, sollen aber bloss „Arten", nicht „Gattungen" von Rädern unterscheiden, nämlich nur die ungefähre Richtung der eintretenden Wasserzuflüsse angeben. „Radial" ist obendrein noch unbestimmt, indem es nicht angibt, ob von aussen oder von innen gemeint ist. Unsere trefflichen deutschen Ausdrücke ober-, unter-, mittel- und rückschlächtig — beileibe nicht „schlägig", weil das Rad nicht schlägt, sondern geschlagen, beaufschlagt wird — machen bei kleiner Erweiterung auf „aussen", „innen", „seitlich" alles klar. Die deutsche Industrie baut gute Räder, kann daher und sollte daher auch gut deutsch von ihnen reden.

der Zahnradbahn hervorgehen, s. Fig. 443 a (a. v. S.) und wenn wir statt des Zahneingriffes Reibradhaftung mit dem nöthigen Kraftschluss annehmen, den Haupttrieb der Reibradbahn oder Reibungsbahn, d. i. unsrer gewöhnlichen Eisenbahn, Formel $(R P C)\frac{b}{a}$, siehe Fig. 443 b. Wir können aber auch Haftung mittelst eines Tracks, sei es Seil, sei es Kette, angewandt denken, Formel $(R_t P C)\frac{b}{a}$, aber nun wieder das Glied b in ein Flud verwandeln, z. B. Wasser; dann erhalten wir, s. Fig. 443 c, den Haupttrieb des Tauers, sei es Kettentauer, sei es Seiltauer, Formel $(R_t F C)\frac{b}{a}$. Gehen wir endlich wieder zu unsrer Kette $(Z_r F C)$ zurück, d. h. ersetzen die Zahnstange des Falles a ebenfalls durch ein Flud, z. B. Wasser, so erhalten wir das Ruderradschiff, Fig. 443 d. Alle vier Triebe sind von bekannter Bedeutung, alle aus einer schlichten, dreigliedrigen kinematischen Kette gebildet.

Das Ruderrad wurde oben bei den Lagenführungen, S. 342 ff., bereits besprochen. Die blosse steife Verzahnung hatte sich zwar ganz brauchbar bewiesen und ist viel in Anwendung, besser aber ist, wie an der genannten Stelle gezeigt wurde, eine bewegliche, sich dem Zweck der Wasserbeschleunigung anpassende Verzahnung.

Die drei letzten, gemäfs S. 488 aus der Kette $(Z_r F C)$ bildbaren Triebe sind von geringerer Wichtigkeit. Einzelnes davon kommt vor, ohne als Rädertrieb so viel zu bedeuten, dass wir hier darauf einzugehen hätten.

§. 79

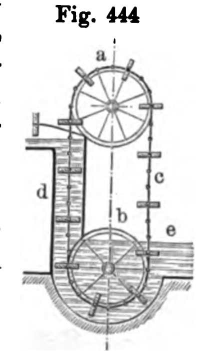
Flud- und Trackgetriebe verbunden

Wendet man statt eines Zahnrades, das in das Flud von S. 488 eingreift, eine verzahnte Kette an, die zwei Rollen endlos umläuft, s. Fig. 444, so erhält man einen Mechanismus, der ähnlich zum Triebe gemacht werden kann, wie der Zahnstangentrieb aus Fig. 421. Man kann ein Kraft-Fludwerk daraus machen, indem man das Flud c treibend wirken lässt, hat das auch vor Alters und in Lehrbüchern gethan; besondern Werth haben aber derartige Kraftmaschinen nicht, weil der Betrieb zu schwerfällig ist. Aus demselben Grunde eignet sich der Mechanismus nicht zum Schiffsbetrieb. Zahlreich dagegen und sehr nützlich sind seine Anwendungen zum Treiben von Fluden. $(R_{t_2} C_2 F)\frac{d}{a}$ kann dann die

abgekürzte Triebformel heissen. Die Benutzungen des Triebs sind in stetiger Zunahme begriffen.

Für tropfbare Flude, vor allem für Wasser, dient der Trieb, wenn man sein Track als Kette ausführt und mit zellenartigen Gefässen besetzt. Man nennt ihn dann Rosenkranz, Paternosterwerk, Eimerkunst, Kastenkunst, Kübelkunst, je nach der Zellenform*). Scheibenkunst heisst der Trieb; wenn man die Mitnehmer als Scheiben, rund oder (üblicher) viereckig ausführt und in entsprechender Röhre aufsteigen lässt. Bei kleinem Steigungswinkel der Röhre ist diese Scheibenkunst sehr brauchbar für ländliche Bewässerungszwecke, auch Baugrubenentleerung. Sie ist sehr alt und u. a. in China ausserordentlich viel benutzt, meist durch Menschenkraft betrieben; sie liefert bei schwacher Steigung völlig so viel Wasser, als Scheibeninhalt mal Schnelle ausmacht.

Fig. 444



Das Laufsieb der Papiermaschine gehört auch hierher, desgleichen die Seilpumpe, deren Erfindung Brunel zugeschrieben wird, ein senkrechter Seiltrieb mit weichem, dickem Tau, das unten ins Wasser taucht und sich vollsaugt, oben durch Walzendruck wieder entwässert wird.

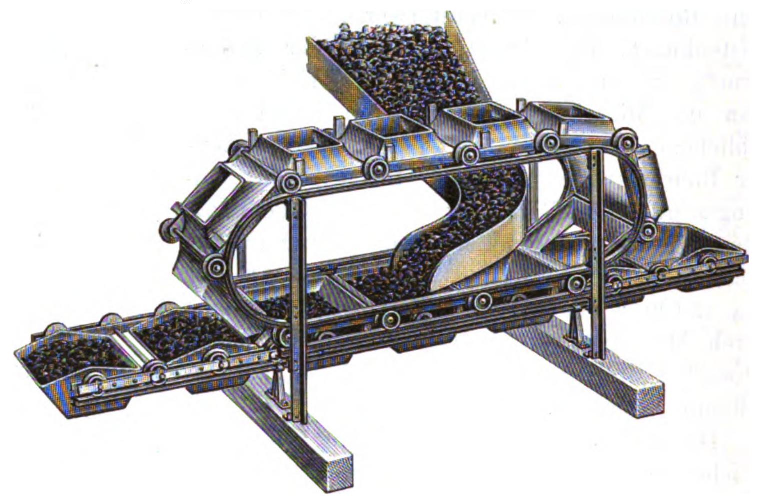
Für körnerige Flude dient der Trieb im Bagger, sodann im Graber oder Erdbagger, auch für Getreide und ähnliche kleinkörnige Gebilde. In vorzüglicher Weise hat ihn Hunt als Umlader für Kohlen benutzt, wie oben, S. 158 und S. 218, bereits gezeigt wurde. Die Art, wie Hunt in die pendelartig hängenden Becken der Schleppkette unterwegs Kohlengrus einfüllt, ist bemerkenswerth, indem sie, s. Fig. 445 (a. f. S.), eine zweite Verwendung

*) Näheres s. in Weisbach-Herrmann, III 2, S. 797 ff. Das Kübelrad ist uralt; es findet sich häufig in Aegypten, ebenso auch in Indien, wo es heute persisches Rad heisst; dieser Name wird indessen dort auch für das nach Fig. 440 a gebaute Schöpfrad gebraucht. Es gibt aber sogar zwei Sanskritwörter für Schöpfrad, von denen das eine, „Ghatiyantrang“ oder Ghatiantra (Wilson), etwa Kübelrad von ghata = Krug, Topf, und yantra = Maschine, das andere, „Vilomang“ oder Viloma, Flüssigkeitsspender oder Flüssigmacher bedeutet; beides würde für hohes Alter der Kübelräder in Indien selbst sprechen. Das zuletzt erwähnte Wort bedeutet auch „entgegengesetzt, verkehrt“ (Wilson, Cappeller) somit „verkehrt laufendes Rad“, was auf die Schaufelung als Wurfrad (Fig. 440 e) schliessen lässt.

33*

desselben Triebes in der Form einer Trichterkette vorstellt. Der Schleppriemen, den wir oben, S. 157, bereits besprochen haben, ist ebenfalls ein Trieb vorliegender Art, und desgleichen das Marolle'sche Schleppband, 1 m breites Eisenband auf 1300 mm


Fig. 445 *Hunt'scher Umlader, Trichterkette*



hohen Rollen, zum Abtragen des Baggerschuttes beim Bau des Suezkanals und den Bauversuchen auf der Panama-Landenge mit Erfolg benutzt*).

Für staubige Flude wird der Trieb in Form der Becherkette viel gebraucht, namentlich in den Getreidemühlen.

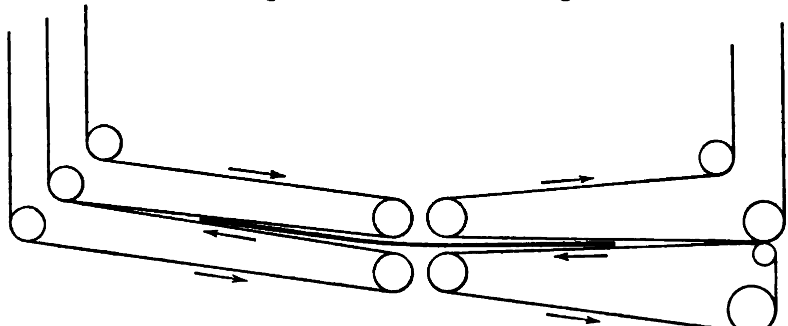
Für flockige Flude dienen die Lattenkette und das Lauftuch in verschiedenen Vorbereitungsmaschinen im Spinnfach.

Erwähnt sei noch, dass auch zur Beförderung von Stückgütern allerlei Art die Laufkette und das Laufband dienen, so in den Blechkannenfabriken und ähnlichen Anstalten, welche zahllos zu wiederholende Ausführungen kleinerer und grösserer Theile herstellen und sie deshalb von einem zum andern Arbeitsplatz zu bewegen haben. Die Förderung ist hier nur nicht stetig, wie bei den Fluden, sondern hängt mit von der Handgeschicklichkeit der Zuführer ab. Eine wichtige Anwendung findet der Trieb in den sogenannten Bandführungen der Schnellpressen. In diesen spielt die Aufgabe, das Papier zu und von der Druckstelle zu befördern, eine hochwichtige Rolle. Schon in den ersten Schnell-

*) S. Revue industrielle 1885, p. 134.

pressen, erfunden von König & Bauer 1810, war die Bandführung angewandt und ist seitdem nur nach verschiedenen Richtungen vervollkommnet, nicht durch Anderes ersetzt worden. Paarweis zusammen wirkende Riemen- oder Bändertriebe, s. Fig. 446, befördern als straff gespannte Zugelemente die Papierblätter, die

Fig. 446
König- & Bauer'sche Bandführung

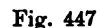


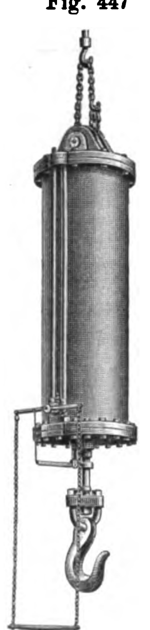
selbst wieder Zugelemente, aber in kurzen Abschnitten, sind, sehr schnell mit voller Sicherheit von einer Stelle der Maschine zur andern, wenden die Blätter auch um und legen sie schliesslich auf einem Sammelplatz ab, oder bringen sie genau an eine Stelle, wo sie gefalzt werden sollen. Die Laufschnelle der Bänder beträgt bis 10 m und darüber.

Die vorstehenden Zusammenfassungen von Rädertrieben beiderlei Art, nämlich Zahnrädertrieben und Rollentrieben, zeigen eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit von Wirkungen, die aber darin, sowohl mit starren, als mit bildsamen Elementen, in sehr einfacher kinematischer Verkettung erzielt worden sind und noch erzielt werden können. Es handelte sich durchweg um kinematische Ketten von nur drei oder nur vier Gliedern. Dennoch geht ein förmlicher Reichthum von Verwendungen aus ihnen hervor, beginnend auf sehr frühen Stufen der Völkergesittung, und immer noch im Wachsen begriffen mit der neuesten Weiterentwicklung der Technik. Sehr wirksam für die Vereinfachung der Anschauungen hat sich der Grundsatz von der Vertauschung von starren Elementen mit bildsamen, oder von bildsamen untereinander, erwiesen; es gibt noch viele Fälle, wo er Anwendung

findet oder noch finden kann. Ueberhaupt aber folgt aus der Vielheit der Anwendungen der Rädertriebe, wie wichtig es ist, die ersten grundlegenden Elementenpaarungen, wie Verzahnungen und Trackleitungen mit all der Sorgfalt zu behandeln, die ihnen neuerdings von Einzelnen zugewandt wird.

Es sei schliesslich noch auf einige Beispiele von Trackleitungen hingewiesen, die weniger auffallend scheinen, als sie sind, nämlich auf die Signalzüge der Eisenbahnen, mittelst deren Weichen und Zeichengeber mancherlei Art, letztere auf weite Entfernungen, manchmal kilometerweit, bethätigt werden. Es sind meist zweifache oder Zwiseldrahtzüge, mittelst deren Hebel gestellt werden und die im Grundsatz darin bestehen, dass je ein Draht für den Vorwärts- und einer für den Rückwärtsgang dient, indem er jedesmal auf Zug beansprucht wird. Die Drähte verbinden entweder Hebel als Koppeln, oder sie verbinden Trommeln, die mittelst Ketten mit Wicklung auf die Drähte wirken. Die Längenänderungen, die durch die Wärmeschwankungen herbeigeführt werden, hat man durch Einschaltung belasteter „loser“ Rollen unschädlich zu machen verstanden. Senkrechte Zwiseldrahtzüge finden in Schächten Anwendung, wo sie auf grosse Tiefen und Höhen wirken und meist kraftschlüssig gespannt werden. Doch hat man den Zwiseltrackzug auch für ganz geringe Höhen gut verwerthet, so in den neuen Pressluftthebezeugen, von denen Fig. 447 ein Beispiel darstellt*). Senkrecht und waagerecht zugleich wirkend sind die Zwiseldrahtzüge in den Weichen- und Signalstellwerken für Bahnhöfe, die durch Saxby & Farmer 1862 eingeführt wurden. Man hat in diese so vorzüglichen Einrichtungen, ohne die der Grossbetrieb auf Bahnhöfen gar nicht mehr möglich wäre, das Track neuerdings auch durch ein Flud, Flüssigkeit in Röhrenleitungen, zu ersetzen gesucht; die „hydraulischen“ scheinen indessen die Zugstellwerke nicht durch wesentliche Vorzüge zu übertreffen. Bemerkenswerth ist


Fig. 447



*) Geliefert von der Nason Manufacturing Company, Neuyork, Beckman-Street 77; auch zu beziehen von Schuchardt & Schütte, Berlin. Schon 1888 machte ich in Westermann's Monatsheften Bd. 64, S. 347 ff. auf das Herannahen der Pressluftbetriebe aufmerksam.

nur, wie hier die Praxis von der Ersetzung von Zugelementen durch Druckelemente einen klaren Gebrauch gemacht hat (vergl. auch Bd. I, S. 177).

§. 80

Flud- durch -Flud-Getriebe

Ersetzt man in Fig. 421, §. 75, das Rad *a* auch noch durch ein Flud, so erhält man eine Maschine, in der ein Flud ein anderes treibt, Einrichtungen, die in einer beschränkten Anzahl, aber an sehr wichtigen Stellen in vorzüglicher Weise im Gebrauch sind. Es sind dies die sog. Strahlpumpen.

1. Beispiel. Fig. 448 a., Giffard'sche Strahlpumpe, Einspritzer, Injektor, dargestellt in der besonders einfachen Form, die ihm die Delaware Steam Appliance Company gibt. Hier treibt Dampf unter Uebergang in

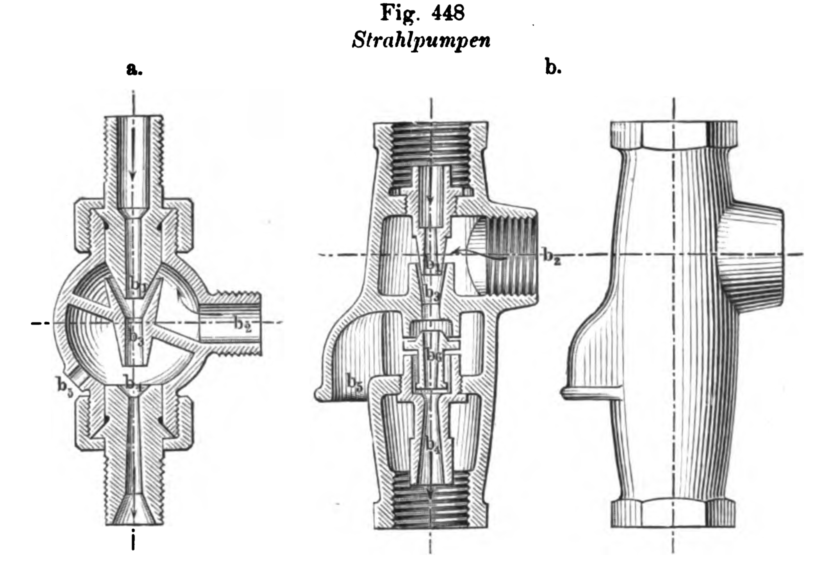


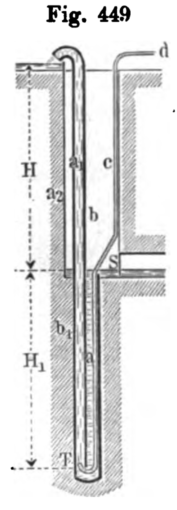
Fig. 448
Strahlpumpen

Wasser anderes Wasser. Das Gehäuse ist das Glied c aus Fig. 421, der treibende Dampf a das Flud, in das das gezahnte Rad übergeführt ist. Die lebendige Kraft von a wird bei dessen Ausströmen aus der Dampfdüse b_1 benutzt, um durch das Saugrohr b_2 einen Wasserstrom b anzusaugen, sich mit diesem in der Mischdüse b_3 unter Niederschlagung zu vereinigen und ihn zur Auffangdüse b_4 zu treiben. Vor Eintritt des Beharrungszustandes sprudelt vor b_4 Wasser über und läuft durch das Schlabberrohr b_5 ab. Durch Verstellung eines Zulassventiles oberhalb der Eintrittsstelle wird die Dampfzufuhr geregelt.

2. Beispiel. Fig. 448 b., Greshams „anspringender" Einspritzer, d. i. Einspritzer mit selbstthätigem Wiederangang, so eingerichtet, dass nach etwaigem Versagen des Wasserzutrittes aus b_2 der richtige Gang von selbst wieder anhebt, sobald nur das Saugrohr an seinem Fuss wieder Wasser fasst. Zu dem Ende ist eine frei bewegliche Düse b_6 zwischen b_3 und b_4 eingeschaltet, die durch die Pressungen von unten und oben eingestellt wird.

Im Dampfstrahlgebläse (Körting, Herbertz an seinem Kuppelofen) wird Luft durch Dampf angesaugt und fortgetrieben; in der Bunsen'schen Luftpumpe wird Luft durch Wasser, in der gemeinen, so verbreiteten Sprühflasche Wasser durch Luft angesaugt und fortgetrieben, bei den Petrolfeuerungen Erdöl durch Dampf. Auch körnerig kann das zu befördernde Flud sein. Sand wird in Tilgmans Sandgebläse, gepulverte Stoffe werden durch Luft im Hüttenwesen, Getreide wird beim Umladen, s. S. 274, mittelst Luftstromes, Kies wird durch den Wasserstrom im Kiesheber, s. S. 160, in grossartigem Mafsstabe befördert. Kurz, die Strahlpumpen, kein halbes Jahrhundert alt, finden die vielartigsten Verwendungen *).

Fig. 449



Bemerkenswerth ist bei den stets durch blosse Leitung wirkenden Strahlpumpen, die wir betrachtet haben, dass sie alle durch lebendige Kraft, also dynamisch wirkten. Es gibt indessen auch eine Betriebsweise an dieser Stelle, die man als statische zu bezeichnen hat.

*3. Beispiel. Eine statisch wirkende Leitungspumpe ist die Geiserpumpe von Werner Siemens, Fig. 449 **). Wenn Wasser aus der Teufe H gefördert werden soll, so wird das Steigrohr b vom Sumpf S aus um eine Teufe H_1 abwärts verlängert. Das Senkrohr b_1 ist im Tiefsten offen und dem Zufluss aus dem Gesenke zugänglich. In seine untere Oeffnung T mündet ein Luftrohr e ein, dem Pressluft von oben stetig zugeführt wird. Sie tritt in Blasenform in das Steigrohr hinein und bildet daselbst mit dem Wasser ein Gemisch, das leichter*

*) *Erwähnt sei noch das Anstreichen mittelst Farben-Spreies, der von Pressluft wie das Wasser aus der Sprühflasche gesaugt und dann aufgetragen wird, und das wenig mehr als die Hälfte der Handarbeit kostet. (Wie „Brei" von „brühen", so kommt "Sprei" von „sprühen"; die bei den Aerzten übliche Aussprache „Spreh" ist daher sprachlich nicht zu empfehlen).*

**) *Siehe Berliner Verhandlungen 1885, März, S. 80. In der Zeitschr. deutsch. Ing. 1886 theilte Gerlach mit, dass die Pumpe schon 1797 durch Bergmeister Löscher in Freiberg als „aëronautisches Kunstgezeug" beschrieben worden sei; auch die Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen, sowie die Berg- u. hüttenm. Ztg. berichteten von dem höheren Alter derselben.*

ist, als das Wasser, deshalb aufsteigt und oben ausfliesst. Siemens empfahl, $H_1 = H$ zu machen, d. h. dem Gemisch das spezifische Gewicht $^1/_2$ zu verleihen. Die Pumpe ist wiederholt abermals als neu aufgetaucht).*

Es sei hier an ein kleines gewerbegeschichtliches Ereigniss erinnert, das ich in meiner „kurzgefassten Geschichte der Dampfmaschine" (2. Aufl., Braunschweig 1891) nach Ewbank anführte, und das auf eine kurze Spanne Zeit die gelehrte Fehde über den „horror vacui" wieder anfachen zu sollen schien.

Es war im Jahre 1766, dass ein biederer Pumpenmacher in Sevilla, dem die Märe von der Leerscheu, die 120 Jahre vorher Torricelli beseitigt hatte, ebenso wenig bekannt war, als des letzteren Erklärung, wieder einmal eine Pumpe zu hoch saugen lassen wollte, 50 statt höchstens 30 Fuss. Natürlich gab es trotz allem Abmühen am Pumpenschwengel kein Wasser. Verdriesslich stieg der Meister in den Brunnen hinab, um alles nachzusehen, während oben der Gesell fortwährend am Schwengel arbeitete. Nichts fand er, alles gut gemacht, alles dicht, fest und in Ordnung, und immer noch kein Wasser! Endlich fasste ihn der Zorn; er griff nach seinem Hammer und hieb mit ihm, wahrscheinlich unter einer ansehnlichen Verwünschung, gegen das verstockt dastehende Pumpenrohr. Doch, was hörte er? Von oben rief es, dass das Wasser komme und brausend fliesse. Er hatte mit seinem Krafthieb einen Riss in die hölzerne Teichel geschlagen; Luft drang ein und mischte sich mit dem Wasser zu einem minder schweren Gemenge, das nun vom Luftdruck an der Saugklappe gehoben werden konnte. Als die Sache ruchbar wurde, fehlte es nicht an solchen, die die ganze Neuerung von Torricelli und Genossen für nunmehr überwiesen erklärten. In Rouen aber, derselben Stadt, in der Pascal überzeugende öffentliche Versuche mit Torricelli'schen Röhren gemacht hatte, gieng ein Arzt, Lecat mit Namen, dem spanischen Falle nach, indem er 10 Fuss über dem Wasserspiegel eines Brunnens ein Lufthähnchen in ein aufgestelltes hohes Pumpenrohr setzte. Wenn er dieses öffnete, so saugte die Pumpe 55 Fuss hoch; wenn er es schloss, nur 30 Fuss wie vorher. Das dämpfte denn den neu angehobenen Streit. — In der Siemens'schen Geiserpumpe wird solches, durch Luftblasen erleichterte Gemisch absichtlich gebildet. Dass dieser Pumpe schon 1797 ein Vorgang in Freiberg erstanden gewesen, mindert nach heutigen Anschauungen nicht das Verdienst der Siemens'schen Erfindung, wie unser Patentgesetz mit Fug anerkennt.

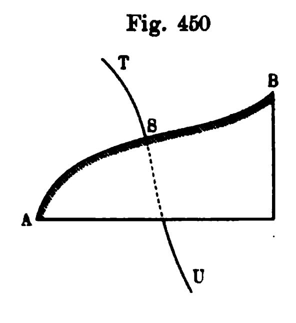
§. 81
Kurventriebe

Denkt man sich eine Kurve AB, Fig. 450 (a. f. S.), in ihrer eigenen Fläche über eine sie schneidende Kurve TU, die in der-

*) *Im Eng. and Mining Journal, Neuyork, 28. Dezbr. 1889, hatte C. A. Stetefeld die Pumpe Air Lift Pump genannt und als um seine Zeit durch Dr. Jul. Pohle erfunden bezeichnet. Eine Berichtigung unter Hinweis auf des Verfassers Konstrukteur IV. Aufl. S. 895 fand in demselben Blatte unterm 19. April 1890 statt.*

selben Fläche liegt, hingeschoben, so legt der Schnittpunkt S der beiden Kurven auf der TU einen Weg zurück, der von den beiden Kurvengesetzen und dem Gesetz der stattfindenden Verschiebung abhängt. Diese phoronomische Aufgabe kann kinematisch verwirklicht werden, indem man das Profil AB und den Punkt S je an einem starren Stück anbringt und beide an einem dritten starren Stück angemessen leitet. Die hiernach mindestens dreigliedrigen Triebe, welche der Aufgabe zu entsprechen vermögen, sind das, was wir Kurvenschubgetriebe oder abgekürzt Kurventriebe nennen wollen. Sie zerfallen in verschiedene Gattungen und Arten, je nachdem die beiden Flächen und die in denselben geforderten Bewegungen beschaffen sind.

Fig. 450



Die einfachste Kurventriebgattung wird erhalten, wenn AB und TU eben sind und die Fläche AB geradlinig verschoben wird, auch TU selbst eine Gerade ist. Die Kurve an AB kann dann als Profillinie eines höheren Cylinders $\tilde{C}$ ausgeführt werden, über den ein Zahn Z gleitet, der ziemlich kantig auslaufen möge (s. übrigens unten). Das Getriebe entspricht dann der kinematischen Formel:

$$P^{+} \ldots \perp \ldots \tilde{C}, Z \ldots \perp \ldots \underline{P^{\pm} P^{-} \ldots \angle \ldots P^{=}}$$

und ist Geradeschub-Kurventrieb zu nennen, kürzer auch Schub-Kurventrieb; als Ordinaten der Kurve bieten sich Parallelkoordinaten als das Einfachste dar.

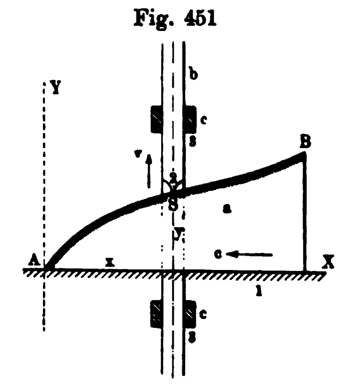
Einen solchen Schubkurventrieb stellt Fig. 451 schematisch dar. Hier ist auch noch der Winkel zwischen der Schubrichtung der „Formplatte" a und derjenigen des „Schiebers" oder „Heblinges" b zu einem Rechten gemacht; ausserdem ist Kraftschluss zwischen Schieber und Formplatte noch vorausgesetzt. Wählen wir nun rechtwinklige Koordinaten, und zwar so, dass die Abszissenachse parallel der Schubrichtung der Formplatte, und der Koordinatenanfang im Anfangspunkt der Kurve AB bei A liegt, so ist der Abstand des Schubpunktes S von der X-Achse = der Ordinate y der Schubkurve, daher die Kurvengleichung

$$y = f(x) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (57)$$

auch die Gleichung der Schubbewegung von S. Vergleichen wir

hiermit die Betrachtungen, die wir oben, S. 421, in Betreff des Kurbelschubes machten, so bemerken wir, dass die Kurve an unsrer Formplatte, abgesehen vom Koordinatensystem, übereinstimmt mit dem geometrischen Gebilde, das wir dort „Schubkurve“ zu nennen für angemessen erkannten. Die „schiebende“ Kurve der Formplatte ist also zugleich die Schubgesetz-Kurve oder Schubkurve des Getriebes; der früher erwähnte Sprachgebrauch würde sie nennen „ein Diagramm“ der Bewegung. Um diese letztere ganz zu kennen, bedarf es noch der Vergleichung der Fortschreitungsschnellen von a und b.

Fig. 451



Nennt man c die Schnelle der Formplatte und v die des Schiebers oder Heblings, so hat man $c = \frac{dx}{dt}$ und $v = \frac{dy}{dt}$, somit:

$$\frac{v}{c} = \frac{dy}{dx} = f'(x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (58)$$

d. h. der Differentialquotient der Kurve ist das Schnellenverhältniss der beiden beweglichen Glieder des Triebes. Dieser Differentialquotient kann ebenfalls durch eine Kurve ausgedrückt werden. Wir werden diese, wie früher in verwandten Fällen, die „Fahrtkurve“ der betrachteten Bewegung zu nennen haben. Sie ist die Differentialkurve zu der den Schub bewirkenden Kurve und wir haben nun folgendes Verhalten im Kurventrieb:

XXI. die Fahrtkurve ist die Differentialkurve der Schubkurve,
die Schubkurve ist die Integralkurve der Fahrtkurve.

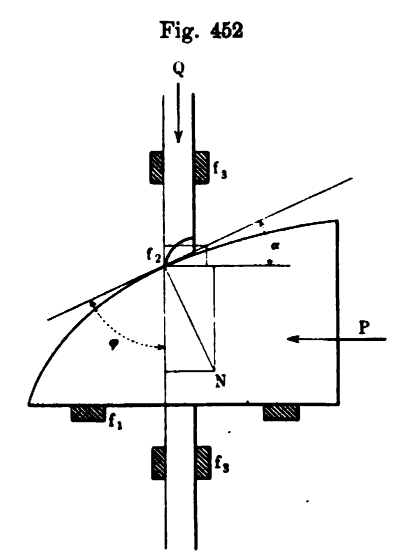
Diese Beziehung, die sich für die Kurventriebe nicht bloss in dem einfachen vorliegenden Fall, sondern für die ganze Reihe der Fälle ergibt, bezw. ergeben wird, gilt auch für die früher schon auf die Schnellenverhältnisse untersuchten Getriebe, wie z. B. die Schubkurbeltriebe, bei denen wir Schubkurve und Fahrtkurve jede für sich aus der Gliederung der Theile ermittelten*),

*) Vergl. Formel (44) S. 421, wo die Gleichung für f der Differentialquotient derjenigen für s ist. Differenzirt man nämlich $s = a \sin \omega - b$

sie gilt auch u. a. für die grosse, formenreiche Reihe der sog. Schieberdiagramme, bei denen allerdings von den Fahrtkurven wenig Gebrauch gemacht wird.

Der Differentialquotient dy/dx kann die verschiedensten Werthe hier annehmen, $+$, $-$, 0 und ∞. Sehr bemerkenswerth ist dieser letzte Fall. Wenn $v:c$ oder $dy:dx$ unendlich gross ist, vermag die Kurvenplatte den Schieber nicht fortzubewegen: der Trieb befindet sich in einer „Todtlage“, der Schieber in einem „Todpunkt“. Solche Punkte müssen vermieden, oder aber, ähnlich wie beim Kurbeltrieb üblich ist, überschreitbar gemacht werden.

Fig. 452



Todtlagen treten ein, wenn die Kurventangente mit der Schubrichtung des Schiebers oder mit der der Formplatte zusammenfällt, indem dann geometrisch $dy:dx = \infty$ oder $dx:dy = \infty$ ist; sie können aber auch schon eintreten, wenn der Differentialquotient bloss sehr gross ist, indem dann unter Umständen die Reibungen schon die Fortbewegung hindern. Gleitende Reibung findet, s. Fig. 451, an drei Stellen, nämlich bei den Paaren 1, 2 und 3 statt; die Reibungskoëffizienten seien f_1, f_2, f_3. Ausserdem sei N der zur Kurventangente rechtwinklige Druck bei 2, sodann $Q \parallel 3$ die Schieberbelastung, $P \parallel 1$ die die Formplatte treibende Kraft. Dann hat man bei den angegebenen Winkeln α und φ:

$$P = N\cos\varphi + Nf_2\sin\varphi + (N\sin\varphi - Nf_2\cos\varphi)f_1$$
$$Q = N\sin\varphi - Nf_2\cos\varphi - (N\cos\varphi + Nf_2\sin\varphi)f_3.$$

Hieraus folgt nach einiger Entwicklung:

$$\frac{P}{Q} = \frac{tg\,\alpha(1 - f_1 f_2) = f_1 + f_2}{1 - f_2 f_3 - tg\,\alpha(f_2 + f_3)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (59)$$

$(1 - \cos\alpha)$, so erhält man $ds = a\cos\omega\, d\omega - b\sin\alpha\, d\alpha$; hierzu die Beziehung $a\cos\omega = b\sin\alpha$ einführend, erhält man $ds : d\omega = a\cos\omega + a\sin\omega\, tg\,\alpha$. Auf S. 421 steht in Folge eines Druckfehlers $+ b(1 - \cos\alpha)$ statt $- b(1 - \cos\alpha)$.

Dieser Werth ist, da $Qv = Pc$, dem Schnellenverhältniss $v:c$ gleich; er wird so lange nicht unendlich, als der Nenner angebbar bleibt, d. h. so lange als:

$$tg\,\alpha < \frac{1 - f_2 f_3}{f_2 + f_3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (60)$$

Wir haben hiernach von dem rein „geometrischen Todpunkt“, bei dem $\frac{dy}{dx} = \infty$, den „mechanischen Todpunkt“, der eintritt, wenn schon das Verhältniss $\frac{P}{Q} = \infty$, zu unterscheiden.

Der Todpunktswinkel α_0 aus (59) scheint ziemlich gross auszufallen. Seine trigonometrische Tangente würde z. B. bei $f_2 = f_3 = 0{,}1$ sein: $tg\,\alpha_0 = (1 - 0{,}01):0{,}2 = 99:20 \sim 5$, entsprechend 79°. Indessen sind die Reibungskoëffizienten der sichern Gangbarkeit des Triebes wegen weit höher, als für geölte Flächen gilt, einzusetzen und ausserdem zu beachten, dass wir oben die Lage der Stützen so günstig wie möglich vorausgesetzt, jedes einseitige Freitragen vermieden haben. Bei $f_2 = f_3 = 0{,}4$ kommt α_0 = nahe 45° und das ist eine Grenze, bis zu der man im allgemeinen nicht gehen sollte.

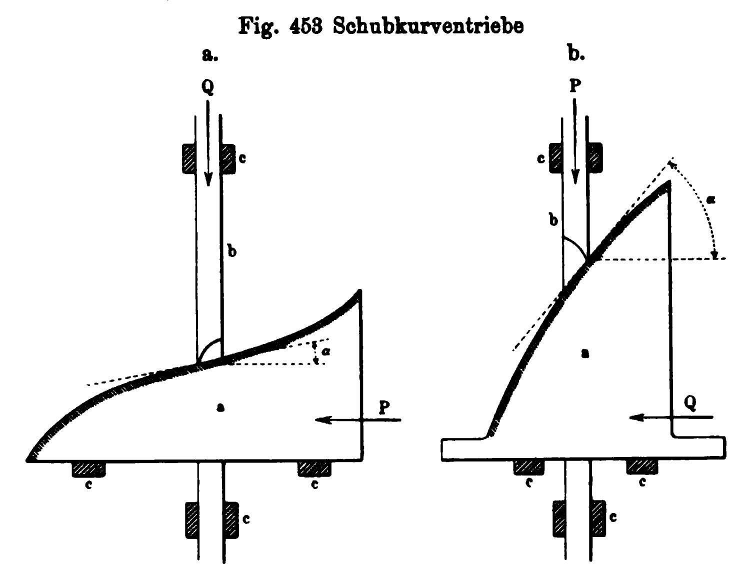
Denkt man sich in einer, aus (59) hervorgehenden Todtlage die Kräfte umgekehrt benutzt, nämlich Q zur treibenden, P zur widerstehenden Kraft gemacht, so kehren sich die widerstehenden Reibungen bei 1, 2 und 3 der Richtung nach um und man erhält für den Todpunktswinkel:

$$tg\,\alpha_0 = \frac{f_1 + f_2}{1 - f_1 f_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (61)$$

In dem Falle, dass alle drei Reibungskoëffizienten gleich wären, bedeutet dies, dass der hier berechnete Winkel den oben ermittelten zu 90° ergänzt. Wir erkennen hier zugleich die zweifache Brauchbarkeit des Geradschub-Kurventriebes, indem derselbe sowohl für den Betrieb durch a, als für den durch b eingerichtet werden kann. Fig. 453 (a. f. S.) stellt schematisch zwei, in diesem Sinne einander gegenüberstehende Kurventriebe dar; der erste ist $(P\frac{\perp}{2}\tilde{C})_{\frac{c}{a}}$, der zweite $(P\frac{\perp}{2}\tilde{C})_{\frac{c}{\bar{b}}}$. Klarer als in vielen andern Fällen liegen, wie sich zeigt, beim Kurventrieb die Beziehungen zwischen Kinematik, Geometrie und Mechanik zu Tage, indem die Geometrie unmittelbar in der Kurvenform, die Mechanik in

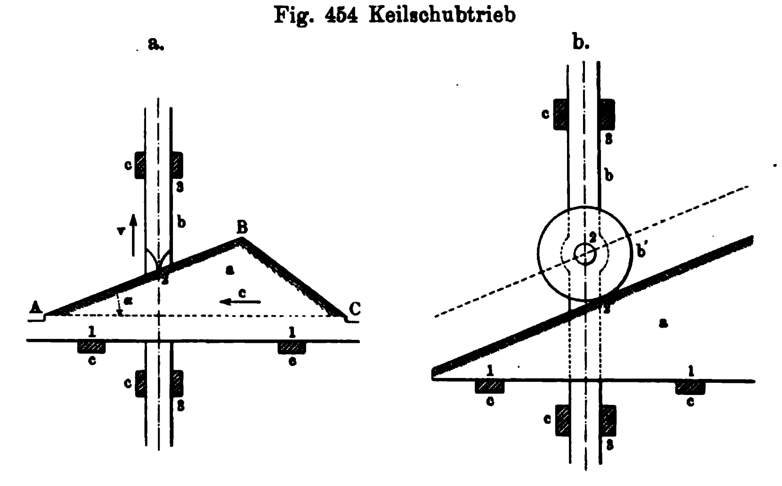
so wichtiger Weise in den Reibungsverhältnissen bestimmend eintritt. Wir gehen zu Beispielen über.

Fig. 453 Schubkurventriebe



Keilschubtrieb. Gibt man der Formplatte die gerade Linie zum Profil, so ist die erzielte Bewegung dieselbe wie beim Keiltrieb (s. S. 397). In dem in Fig. 454 dargestellten Trieb

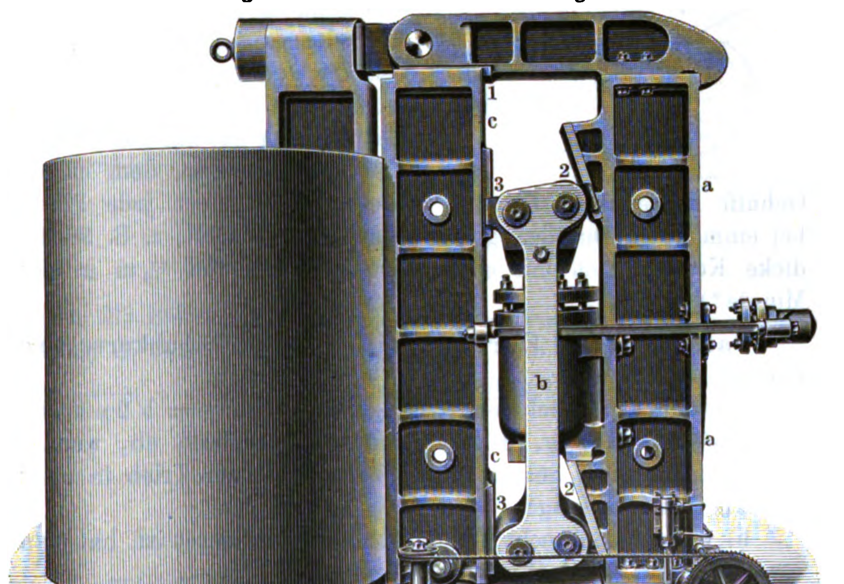
Fig. 454 Keilschubtrieb



sind zwei verschieden steigende Schübe vereinigt. Die Schubkurvengleichung für das Stück AB ist $y = p + qx$, die Fahrt-

kurvengleichung $\frac{dy}{dx} = \frac{v}{c} = q = tg\,\alpha$; für das Stück BC ist $y = p_1 - q_1 x$, und $\frac{v}{c} = -q_1 = -tg\,\alpha_1$. Die Schiebung ist also stets proportional derjenigen der Formplatte. Die Werthe $tg\,\alpha$ und $tg\,\alpha_1$ sind als Parallelen zur Schubrichtung 1.1 leicht einzutragen. Wird zur Verminderung der Kantenreibung bei 2 eine

Fig. 455 Tweddell'scher Plattenbieger

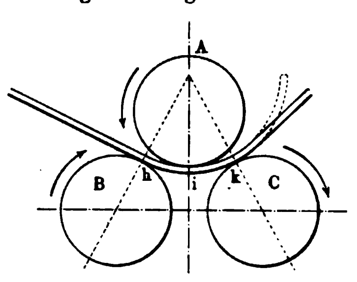


runde Rolle eingeschaltet, s. Fig. 454 b, so ist die Schubkurve die durch das Rollenmittel gehende Gleichfernige des Profiles der Formplatte.

Ein Beispiel einer grossartigen Verwendung dieses Keilschubtriebes ist der in Fig. 455 dargestellte Tweddell'sche Plattenbieger. Hier sind zwei gleichwirkende Keilschubtriebe vereinigt. Sie sind von der Art b in Fig. 454, durch Schieber *b* betrieben, der seinerseits durch Wasser aus einer Hochdruckhaltung vorbewegt wird. *a* ist der Formplattenkörper. Er presst mit seinem bügelförmigen rückwärtigen Fortsatz auf die zu biegende Platte. Zweimal ist Kraftschluss benutzt, nämlich zur Rückführung von

a mittelst Seilzuges und von *b* mittelst des Gewichtes der Theile. Durch Rollen sind die Reibungskoëffizienten f_1 und f_2 bedeutend herabgezogen. Die Maschine hat in sofern ein merkwürdiges Stückchen Geschichte, als sie anfänglich nur dazu bestimmt war, die Anfangs- und Endränder der auf dem Biegewalzwerk, Fig. 456, gerundeten Platten angemessen zu biegen. Beim Gebrauch aber kam man, da das sehr gut gieng, dazu, der ganzen Platte schrittweis die gewünschte Krümme zu geben, was bald gelang. Der Plattenbieger hat auf diese Weise das Biegewalzwerk, dem es als Gehülfe dienen soll, förmlich abgesetzt. Es biegt jede Platte bei einmaligem Durchgang und zwar recht schnell, z. B. 38 mm dicke Kesselplatten mit einer Fortschreitung von $^3/_4$ m in der Minute*).

Fig. 456 Biegewalzwerk



Parabolischer Kurvenschub. Ist die Schubkurve eine Parabel, so hat man:

a) wenn *c* parallel der Achse gerichtet ist, $y = \sqrt{2px}$ und $v:c = dy:dx = p:y$, d. h. *v* nimmt hyperbolisch ab, wenn *c* unveränderlich ist; ausserdem ist bei $y = 0$ der Trieb in einer geometrischen Todtlage;

b) wenn *c* senkrecht zur Parabelachse gerichtet ist, hat man $y = \frac{x^2}{2p}$, wonach $v:c = dy:dx = x:p$, d. h. bei gleichförmigem *c* ist die Schnelle *v* des Heblings proportional *x*.

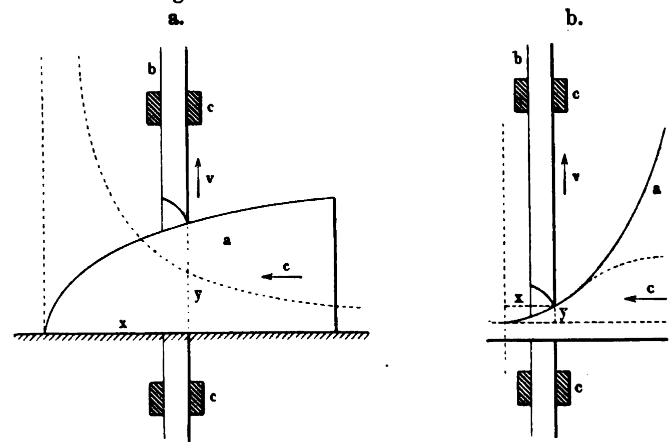
Wendet man beispielsweise zwei gleiche Parabelbogen, so wie in Fig. 457 punktirt angedeutet, als Wasserlinie am Schiffsbug an, so nimmt die Schnelle *v* des in der Querrichtung verdrängten Wassers zuerst proportional der Fortschreitung *x* zu und dann wieder ebenso proportional ab. Die verschiedensten Schubkurvengesetze können auf vorliegende Art angewandt und untersucht werden.

---

*) Beschreibung Engineering 1898, 27. Mai. Die Krümmung der Platte zwischen *i* und *k* ist kreisförmig, die zwischen *h* und *i* nimmt von *h* nach *i* hin zu. Ebenso wie man auf dem Biegewalzwerk mit derselben Druckwalze *A* der Platte verschieden starke Biegungen ertheilt, thut man dies auf dem Plattenbieger mit einem und demselben gerundeten Stempel.

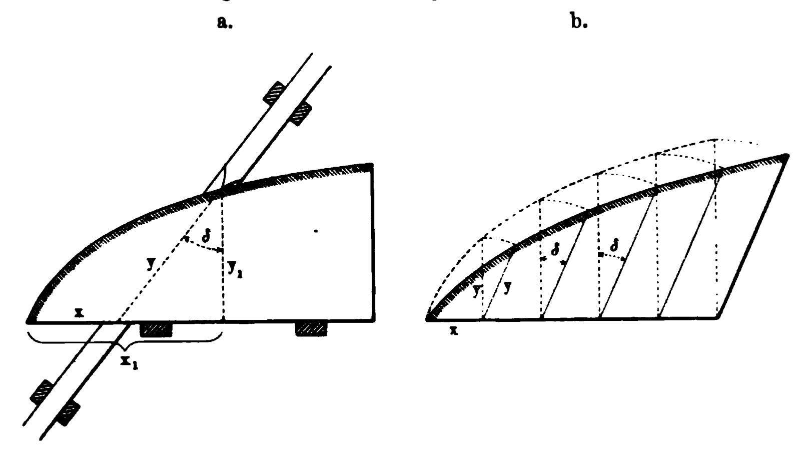
Schiefwinklig wirkende Planschubkurven. Wenn der Schieber oder Hebling sich geradlinig, wie bisher, aber schiefwinklig

Fig. 457 Parabolischer Kurvenschub



gegen die Bahnen der Formplatte bewegt (vergl. die kinematische Formel S. 522), so gilt Folgendes.

Fig. 458 Schiefwinkliger Kurvenschub



a) Bei gegebener Schubkurve, s. Fig. 458 a, verwandle man die gegebenen Koordinaten y_1 und x_1 in schiefwinklige, wobei wird $y = y_1 : \cos\delta$, $x = x_1 - y_1 \, tg\, \delta$ und hieraus als Beziehung folgt:

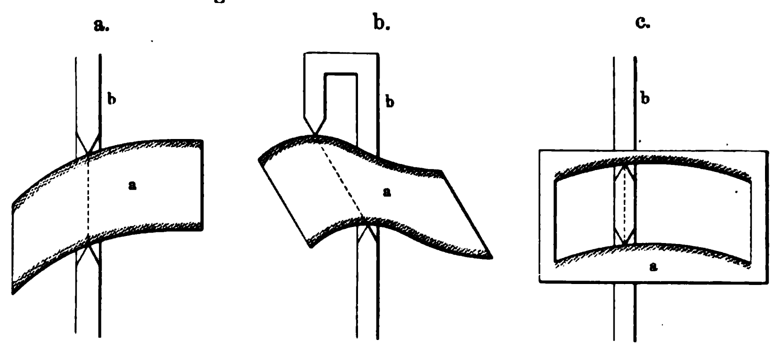
$$\frac{y}{x} = \frac{y_1}{\cos\delta\,(x_1 - y_1\, tg\,\delta)} = \frac{y_1}{x_1 \cos\delta - y_1 \sin\delta} \quad \cdot \cdot \quad (62)$$

b) Bei gegebenem Schubgesetz, ausgedrückt durch eine Kurve mit rechtwinkligen Koordinaten, Fig. 458 b, lege man die Ordinaten der Schiefe δ des Schubes entsprechend um, worauf die Gleichung der schiefwinkligen Schubkurve mit derjenigen der gegebenen Kurve übereinstimmt.

Die Todpunktfrage ändert sich ein wenig, worauf bei Ausführungen geachtet werden muss.

Paarschluss zwischen Hebling und Schubkurve. Häufig ist es erwünscht, statt der kraftschlüssigen Verbindung von Formplatte und Schieber Paarschluss zwischen beiden anzuwenden, damit auch beim sehr schnellen Betrieb kein Fehler in den Fortschreitungen entstehen könne. Dieser Paarschluss kann auf ver-

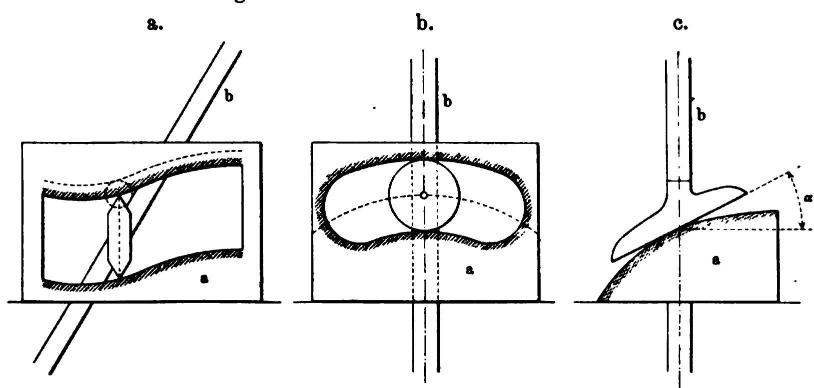
Fig. 459 Paarschluss im Kurventrieb



schiedene Arten unschwer herbeigeführt werden. Man kann die Schubkurve parallel an der Formplatte wiederholen und dasselbe mit dem Schieberzahn thun, s. Fig. 459 a; dabei brauchen die beiden Angriffspunkte (S und S') nicht beide in derselben Schubrichtung zu liegen, s. Fig. 459 b. Auch können die beiden parallelen Schubkurven über- statt untereinander gelegt werden, s. Fig. 459 c, wodurch ein profilirter Rahmen entsteht, den die Enden des zweifachen Heblingszahnes berühren. Dies geht auch für schiefwinkligen Schub an, s. Fig. 460 a. Auch kann man dann Leitrollen zur Reibungsverminderung einschalten, wie punktirt unter a angedeutet ist. Will man dies aber überhaupt, so ist es am einfachsten, wie unter b zwei Gleichfernigen zur Schubkurve als Profile der Formplatte zu benutzen und eine einzige, beide berührende Leitrolle dazwischen zu setzen, die am Schieber, bewege er sich recht- oder schiefwinklig, gelagert ist. Als einen gerad-

flächig profilirten Zahn kann man die „Hebelatte" ansehen, die Fig. 460 c andeutet; sie entspräche einer unendlich grossen Rolle, die aber undrehbar geworden wäre. Die entstehende Schub-

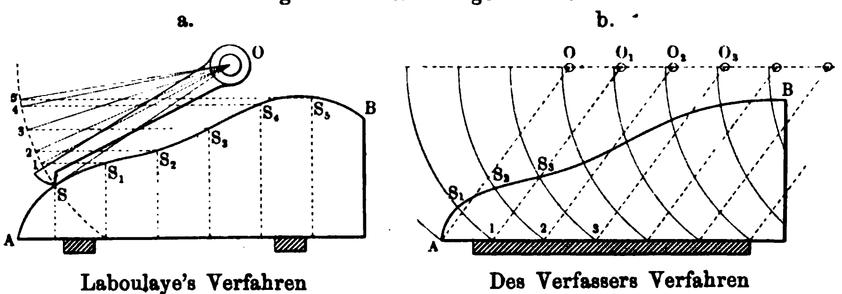
Fig. 460 Paarschluss im Kurventrieb



bewegung hängt dann nicht mehr von dem Formplattenprofil AB ab, sondern geschieht so, wie im Keilschub. Auch sie kann, wenn nöthig, paarschlüssig gemacht werden.

Kreisförmig schiebende Kurventriebe. Wenn der Punkt S, wie Fig. 461, sich im Kreise bewegt, indem der Hebling sich um eine zur Formplatte rechtwinklige Achse dreht, so können

Fig. 461 Kreisförmiger Schub



Laboulaye's Verfahren — Des Verfassers Verfahren

die kreisbogenförmigen Abschnitte der Bahn des Schubpunktes, wenn die Schubkurve gegeben ist, wie folgt bestimmt werden.

a) *Nach Laboulaye's Verfahren.* Trage in gleichen Abständen die Ordinaten der gegebenen Kurve rechtwinklig zur Schubbewegung von a auf und lege durch deren Endpunkte $S_1\ S_2\ S_3\ldots$ Parallelen zur Schubrichtung. Dann geben deren Einschnitte

in die kreisförmige Bahn des Punktes 2 die Fortschreitungen des Heblings an.

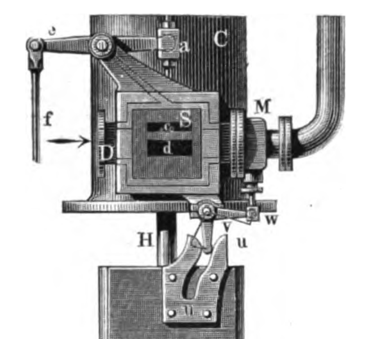
b) *Nach des Verfassers Verfahren.* Trage die Fortschreitungen der Schubkurve rückwärts auf der Parallelen zur Schubrichtung, die durch den Achsenpunkt O des Heblings gezogen ist, auf, und beschreibe mit OA aus den Theilpunkten I, II, III ... Kreisbogen, die in S_1, S_2, S_3 ... die Schubkurve schneiden; dann sind 1. S_1, 2. S_2, 3. S_3 ... die gesuchten Wege des Schubpunktes. — Umgekehrte Auftragung bei gegebenem Schubgesetz liefert Punkte der Schubkurve.

Dieser Hebel-Kurventrieb, wie man ihn nennen kann, findet mancherlei Anwendungen, meist unter zapfenförmiger, oder noch besser rollenförmiger Umfassung des Schubpunktes, vergl. S. 530.

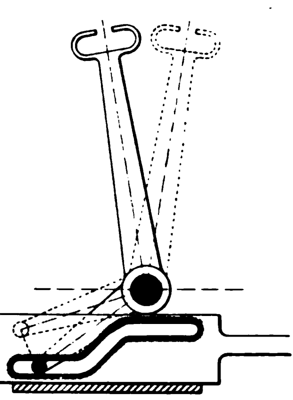
1. Beispiel. Fig. 462 zeigt unter a den Hebelkurvenschub, angewandt auf die Steuerung des Dampfhammers, der mit Oberdampf arbeiten soll. Das durch Federdruck, also kraftschlüssig stets nach seiner Schlusslage hin

Fig. 462

a. Dampfhammersteuerung



b. Riemenführer



gedrängte Oberdampfventil wird durch die Schubkurve, sobald der Hammerbär an seiner oberen Hubgrenze ankommt, geöffnet und gleich nach Beginn des Abwärtsganges alsbald wieder geschlossen.

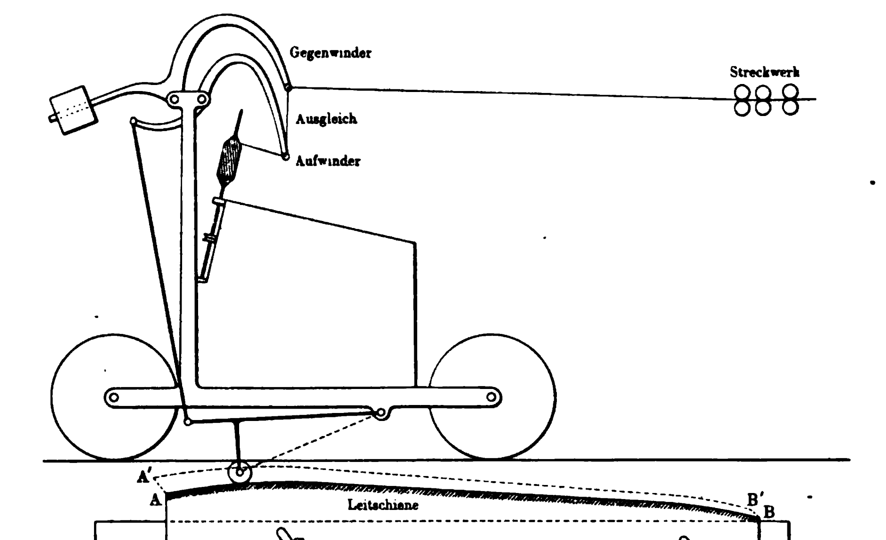
2. Beispiel. Bei dem vom Verfasser angegebenen Riemenführer unter b) ist vermöge der zwei Todtlagern keine Verschiebung der Formplatte vom Riemen aus möglich.*

3. Beispiel. Aufwicklungsgetriebe des Selbstspinners, Fig. 463. Hier wird die Fadenleitung, vermöge deren der Kötzer in festgeschlossenen Faden-

*) Siehe Berliner Verhandlungen 1868, S. 161, Rittershaus, Ueber Riemenführer.

lagen und doch gut abwickelbar gebildet wird, durch drei verbundene Kurventriebe bewirkt. 1. Für die Bewegung des Aufwindedrahtes dient kraftschlüssiger Hebel-Kurvenschub mit der sog. Leitschiene A B. Dieselbe steht bei jedem einzelnen Wicklungsgange fest, während der Hebel schreitet, vergl. Fig. 461; sie wird aber, sobald der „Kölzerboden" gebildet ist und nunmehr kegelförmige Schichten auf die sich verjüngende Spindel aufzuwinden sind, 2. und 3. durch die schiefwinkligen, ebenfalls kraftschlüssigen Kurvenschübe bei $A_1 B_1$ und $A_2 B_2$ in der Höhen- wie Längsrichtung schrittweis so verstellt, dass die Wicklungsschichten die gewünschte Fadenanordnung

Fig. 463 Fadenführung beim Selbstspinner



erhalten. Zu bemerken ist dazu noch, dass das sog. Quadrantengetriebe die Fahrschnelle c des Spinnwagens von einem grössten Werth bis auf nahe Null allmählich verkleinert und dadurch die Zahl der Fadenumschläge an der Kölzerspitze stetig steigert).*

Ungangbarer Keilschub als Scheere. Wenn man in dem Plankurvenschub, den wir als „Keilschubtrieb" oben, S. 526, behandelten, den Tangentenwinkel α, Fig. 464 a (a. f. S.), beträchtlich über den in Formel (60) berechneten Werth hinaus steigert, etwa so, wie Fig. 464 b (a. f. S.) andeutet, so vermag die Formplatte a den

*) S. Hartig-Stamm, Studien ü. d. Selfactor, Leipzig, Teubner, 1862.

Schieber *b* nicht mehr zu verschieben, weil die Reibungen bei 2 und 3 zu gross ausfallen. Der Trieb unter *b* befindet sich also für den Betrieb durch *a* in einer Todtlage. Gestaltet man aber nun die Formplatte *a* bei 2 und die Führung *c* bei 3 als Schneiden und den Schieber *b* als Werkstück, so wird bei genügender Triebkraft das Werkstück *b* durch die beiden Schneiden zerschnitten, wie

Fig. 464 Keilschubtriebe

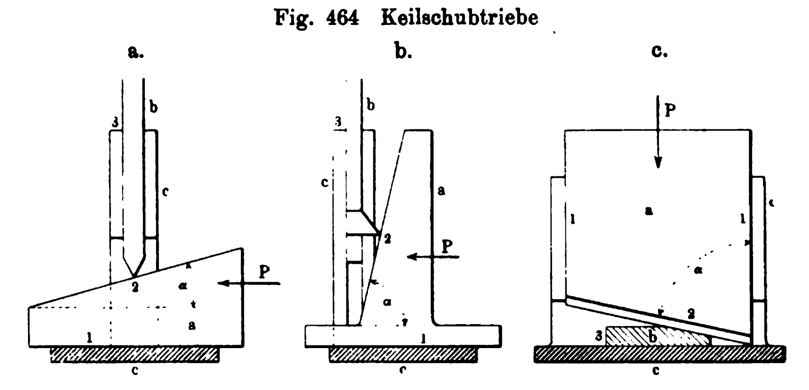


Fig. 464c andeutet. Dieses Verfahren ist bekanntlich in verbreitetster Anwendung. Wir werden noch mehrfach darauf zurückzukommen haben.

§. 82

Unrunde oder Kurvenscheiben

Die Schubkurve aus Fig. 450 kann man auch, statt an einem geradlinig bewegten Gebilde, an einem sich drehenden anbringen, auch den Schubpunkt S dabei sowohl geradlinig, als unter Umständen auch kreisförmig fortschreiten lassen, ohne die anfänglich gestellten Bedingungen zu verletzen. Es entstehen dabei besondere Gattungen und Arten des Kurventriebes.

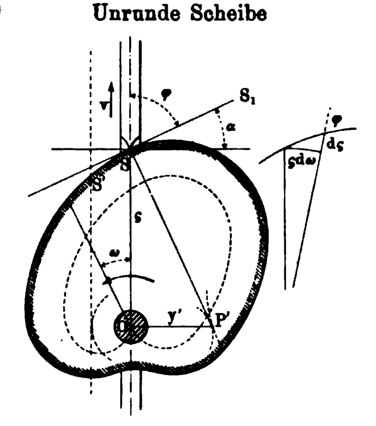
Legt man die Schubkurve AB in eine Ebene, die sich um eine zu ihr rechtwinklige Achse dreht, so erhält man bei Verwirklichung des Triebs die sog. unrunden oder Kurvenscheiben. Der Schubpunkt S kann dabei radial, oder tangential oder, wie erwähnt, kreisförmig geleitet werden, ohne die Fläche der Schubkurve zu verlassen. Fig. 465 stellt schematisch eine Kurvenscheibe dar, bei der S radial durch den Achsenpunkt O der Scheibe geführt gedacht ist. In diesem Falle ist der aus O nach

S gezogene Fahrstrahl ϱ stets der Abstand des Schubpunktes von O, d. h. es ist die polare Kurvengleichung:

$$\varrho = f(\omega) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (63)$$

ein Ausdruck des Gesetzes der Bewegung, die dem Schieber durch die Drehung der Scheibe ertheilt wird; mit andern Worten: die Umfassungskurve der Scheibe ist (nach dem älteren Sprachgebrauch) ein „Diagramm" der Schieberbewegung (vergl. auch S. 421). Wir sehen hier alsbald, dass mehr als eine Kurve zur Wiedergabe des Bewegungsgesetzes des Schiebers dienen können, was ein Licht darauf wirft, dass man in der Dampfschiebertheorie verschiedene „Diagramme" für eine und dieselbe Aufgabe (das Zeuner'sche, das Müller'sche, das Reuleaux'sche usw.) anwendet. Wir kommen ganz bald auf die Sache zurück, wollen aber vorerst die Schnelle v des Schiebers aufsuchen. Für diese haben wir $v = d\varrho : dt$ und für die Winkelschnelle w der Scheibe beim Drehwinkel ω, $w = d\omega : dt$; somit erhalten wir:

Fig. 465
Unrunde Scheibe



$$\frac{v}{w} = \frac{d\varrho}{d\omega} = f'(\omega) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (64)$$

d. h. das Verhältniss zwischen der Schnelle v des Schiebers und der Winkelschnelle w der Scheibe ist = dem Differentialquotienten der Umfassungskurve der Scheibe. Dieses Verhältniss können wir durch eine Kurve, die Differentialkurve der Umfassungskurve, ausdrücken, und die Differentialkurve ist dann, wie früher beim Plankurvenschub, die Fahrtkurve oder Velozide der Schieberbewegung.

Ehe wir ihre Form näher betrachten, suchen wir die Polbahnen zwischen Scheibe und Schieber auf. Von zwei Punkten des Schiebers kennen wir die Bewegungsrichtung gegen die Scheibe, von dem Punkte, der jetzt in O fällt, und von dem Punkte S. Ersterer bewegt sich in der Richtung OS, letzterer in der Richtung der Tangente SS_1 der Schubkurve, einer Richtung, die mit $OS\ldots$ den Winkel φ, mit der Normalen dazu den

Winkel $(90 - \varphi) = \alpha$ einschliesst. Die Normalen zu diesen beiden Bewegungen müssen einander in dem augenblicklichen Drehpunkt oder Pol P' der untersuchten Relativbewegung schneiden (Bd. I, S. 64 ff.). Dieser Punkt P' ist also den beiden gesuchten Polbahnen gemeinsam.

Polbahn der Scheibe. Der Fahrstrahl $OP' = \varrho'$ ist $= \varrho : tg\varphi = \varrho\, tg\,\alpha$. Es ist aber $tg\,\alpha = d\varrho : \varrho\, d\omega$, vergl. Nebenfigur, somit:

$$\varrho' = \frac{d\varrho}{d\omega} = \frac{v}{w} = f'(\omega)_\omega \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (65)$$

Polbahn des Schiebers. Diese Kurve ist, da der Schieber sich geradlinig fortbewegt, auf Parallelkoordinaten zu bringen. Abszisse der Kurve ist, bei S anfangend, $\varrho = x'$, Ordinate $OP' = y'$. Man hat also y' = dem vorigen ϱ', nur ausgedrückt durch ϱ, und somit:

$$y' = \frac{v}{w} = \frac{d\varrho}{d\omega} = f'(\omega)_\varrho \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (66)$$

Hierbei ist im Auge zu behalten, dass der Fahrstrahl ϱ', welcher der Differentialquotient von ϱ ist, rechtwinklig zum Fahrstrahl ϱ der Umfassungskurve der Scheibe steht.

Vergleichen wir nun aber das Gefundene mit dem vorhin Behandelten, so bemerken wir, dass die zwei Polbahnen von den Gleichungen $\varrho' = f'(\omega)_\omega$ und $y' = f'(\omega)_\varrho$ gleich sind dem Schnellenverhältniss $v : w$, mit anderen Worten: dass die beiden Polbahnen des Kurvenschubs zugleich die zwei Fahrtkurven oder Veloziden des Getriebes sind, und zwar, dass die Kurve $f'(\omega)_\omega$ die Schnelle des Schiebers als Funktion des Drehwinkels ω ausdrückt, während $f'(\omega)_\varrho$ sie als Funktion des Schubes x' darstellt.

Die Reibungsverhältnisse und Todpunkte sind ähnlich wie oben beim Formplattenschub zu untersuchen und führen auch zu ganz ähnlichen Ausdrücken, denen wir indessen hier nicht nachgehen können, vielmehr zu Beispielen übergehen wollen.

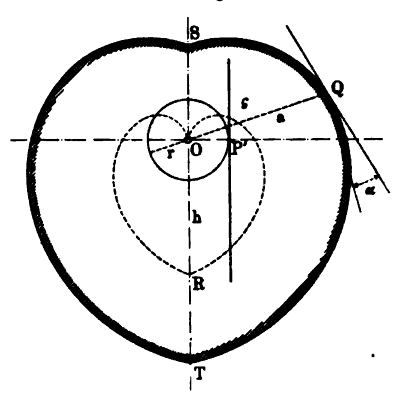
Archimedische Spiralscheibe, Fig. 466. Auf diese sei etwas näher eingegangen. Hier ist $\varrho = a + r\,\omega$, der Vorschub also proportional dem Drehwinkel; der gleichwerthige Formplattentrieb wäre also der Keilschubtrieb. Für die Polbahnen haben wir nun:

$$\left.\begin{aligned} \varrho' &= \frac{d\varrho}{d\omega} = \frac{r\,d\omega}{d\omega} = r \;\ldots\ldots\ldots \\ \text{und} \qquad y' &\text{ ebenfalls} = r \;\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad (67)$$

d. h. die Polbahn der Scheibe ist ein Kreis oder Kreisbogen vom Halbmesser r und die Polbahn des Schiebers eine Gerade parallel zur Schublinie, von derselben abstehend um r.

Häufig werden, wie in unsrer Figur, zwei gleiche Spiralabschnitte zum Winkel π zur Umfassungskurve vereinigt. Man nennt solch eine Scheibe wohl Herzscheibe, womit aber nichts besonders Brauchbares ausgesagt wird, da zwei gleiche Kurvenabschnitte von mancherlei Gesetz, äusserlich genommen, solch eine herzförmige Figur abgeben können.

Fig. 466
Archimedische Spiralscheibe



Die Konstante a ist aus den Polbahn- und Schnelligkeitsgleichungen weggefallen, sie ändert also nichts am Schubgesetz, obwohl sie die Form der Kurve beeinflusst, wie wir oben, S. 526, bereits fanden. Sie möge die „Erweiterung“ des Kurvenfahrstrahls oder der Kurve heissen. Diejenige Form der letzteren, die bei $a = o$ entsteht, heisse die homozentrische oder mittelsläufige Form der Scheibe (vergl. S. 35 ff.). Sie ist in Fig. 466 eingetragen, aber auch schon in die allgemeinere Darstellung Fig. 465 punktirt aufgenommen.

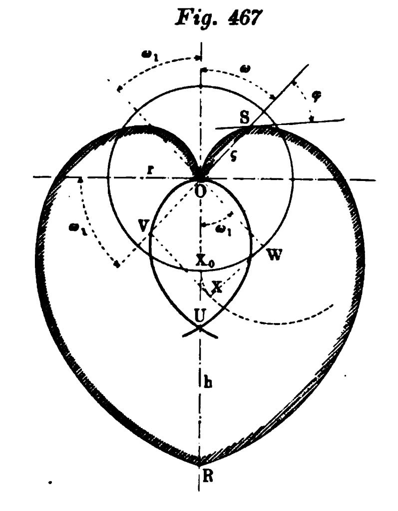
Für den Steigungswinkel α der Kurve hat man $tg\,\alpha = d\varrho : \varrho\,d\omega$, hier also $r\,d\omega : (a + r\omega)\,d\omega$, d. i. $= 1 : \left(\frac{a}{r} + \omega\right)$; am grössten wird also α bei $\omega =$ Null, nämlich $tg\,\alpha = \frac{r}{a}\cdot$ Durch passende Wahl der Erweiterung a kann man hiernach die Todpunkte vermeiden. Sollte, was auch hier passt, die oben S. 525 berechnete Grösse von $tg\,\alpha \leqq 1$ verlangt werden, so erhielte man für die Erweiterung $a \geqq r$.

Bei der mittelsläufigen Form der Kurve, die punktirt ein-

getragen ist, ist $a = 0$, demnach für den Anfangspunkt, wo auch $\omega = 0$ ist, $tg\alpha = r:0 = \infty$, α also ein Rechter; somit ist stets schon geometrisch eine Todtlage vorhanden. Demnach ist die mittelsläufige Form der archimedischen Spiralscheibe für den Zweck des Kurvenschubs ganz unbrauchbar.

Geometrisch ist sie indessen noch zu verwerthen. Man kann nämlich noch diejenige Form der Kurve aufsuchen, bei der sie räumlich am allerkleinsten ausfällt. Dies tritt ein, wenn man den Hub h oberhalb und unterhalb von O gleichweit vertheilt, d. i. von dem Fahrstrahl der mittelsläufigen Kurve überall den Werth $h/2$ abzieht, mit anderen Worten $a = -h/2$ macht. Dann wird $\varrho = r\omega - \frac{1}{2}h$, oder, weil $h = r\pi$ ist: $\varrho = r\left(\omega - \frac{\pi}{2}\right)$. Die sich ergebende Kurve ist in Fig. 467 eingetragen. Sie kann die engste oder auch die Kernform der, das Bewegungsgesetz ausdrückenden Schubkurve genannt werden). Verfolgen wir in Fig. 467 den Vorgang, so haben wir $OS = r\omega$, wovon abzurechnen ist $SV = OU = \frac{1}{2}h$, sodass $OV = r\omega - r\frac{\pi}{2} = r\left(\omega - \frac{\pi}{2}\right)$.*

Fig. 467



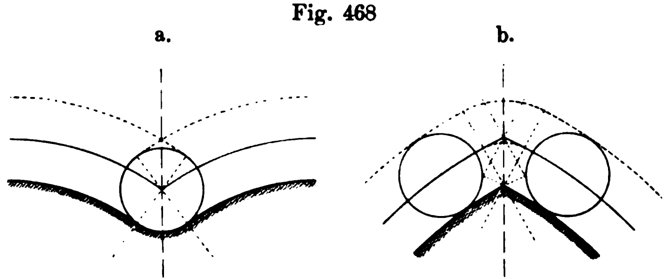
Setzen wir $\omega - \frac{\pi}{2} = \omega_1$, so haben wir $OV = \varrho_1 = r\omega_1$. Rechtwinklig zu SV die $OW = r$ und $VX = OW$ ziehend und W mit X verbindend, haben wir $WX = r\omega_1 = WX_0$. Das heisst: der Punkt X durchläuft eine Kreisevolvente $X_0X\ldots$ von r, und die Kurve „archimedische Spirale" ist eine verlängerte, insbesondere die mittelsläufige Kreisevolvente. Auf anderem Wege sind wir schon in der ersten Hälfte dieses Buches, S. 21, zu demselben Nachweis gelangt.

Für den Winkel α zwischen der Kurventangente und der Normalen zum Fahrstrahl haben wir: $tg\alpha = d\varrho : \varrho d\omega = r d\omega : (a + r\omega) d\omega$ $= 1 : \left(\frac{a}{r} + \omega\right)$. Dieser Werth ist auch angebbar bei $\omega = 0$, wo nämlich $tg\alpha = \frac{r}{a}$ wird. Die Kurve in Fig. 466 hat demnach an ihrem innersten Punkt eine Spitze, desgleichen an ihrem äussersten, wo

*) Wir erkennen hier, dass der Zeuner'sche „Schieberkreis" die engste oder Kernform der für den Geradkurbelschub gültigen Schubkurven ist.

$tg\,\alpha = 1 : \left(\frac{a}{r} + \pi\right)$, der Winkel also kleiner ausfällt. Will man somit, um die Zahnschärfe bei S zu vermeiden, und zugleich Paarschluss an Stelle des Kraftschlusses zu setzen, wie oben

Fig. 468



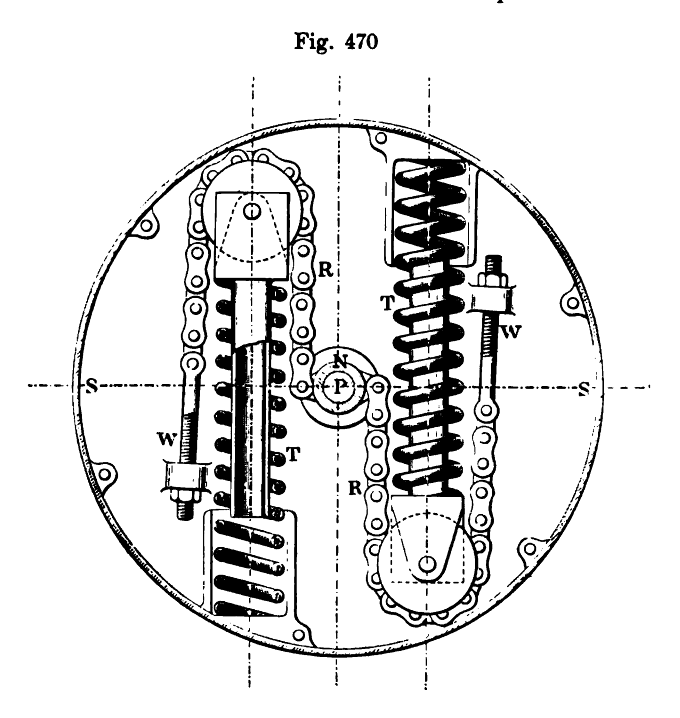
den Punkt S in eine Rolle, und diese in eine Rinne verlegen, so kann man zwar an der einspringenden, nicht aber an der ausspringenden Spitze der Gleichfernigen, siehe Fig. 468, diese in steter Berührung mit der Rolle erhalten, ist daher genöthigt, Abstumpfungen der Kurvenspitzen einzuschalten. Solches geschieht z. B. bei den zahlreichen und vielartigen „Spulentrieben“, in denen ein Faden, ein Faserbündel, ein Nähfaden, ein Strickfaden, ein Vorgespinnstfaden aus Baumwolle oder Wolle, ein Draht, feiner oder gröber, nackt oder umsponnen, kurz allgemein: ein Track in regelmässigen Schraubenwindungen aufgespult werden soll. Die Einschiebung des weichen Uebergangs in die Schubkurve schadet in diesem Falle nicht.

Fig. 469
Wassersäulenmaschine

Eine andere Anwendung der archimedischen Spiralscheibe ist die in Hasties Wassersäulenmaschine. Wie wir oben, S. 530, fanden, dass man behufs Paarschliessung zwei Formplatten mit entgegenständigen Profilen anwenden könne, so kann man beim Kurvenscheibentrieb auch „Gegenscheiben“ auf derselben Achse vereinigen, die dem

Schieber die vor- und rückwärtige radiale Verschiebung ertheilen. In der Kurbelscheibe M der Hastie'schen Maschine, die eine doppeltwirkende Kurbelmaschine ist, liegen, s. Fig. 469 (a. v. S.) zwei unrunde Scheiben K, deren Umfassungskurven genaue Gleichfernigen von archimedischen Spiralen gleicher Steigung sind, dicht neben- oder voreinander, beide zugleich auf den Schieber H vermittelst der Rollen L_1 und L wirkend.

Fig. 470



Indem sie nun den Schieber H einwärts oder auswärts verstellen, verändern sie proportional ihrem Drehwinkel ω die Länge des Kurbelarmes PJ und damit den Kolbenhub der Maschine. Die Verstellung des Scheibenpaares K in der Kurbelscheibe geschieht aber durch die Widerstände, die die Kurbelwelle erfährt. Je grösser diese werden, um so weiter wird die, um die verlängerte Achse P drehbare Trommel N, s. Fig. 470, verdreht, und zwar so lange, bis die Gegenwirkung der Federn T auf die Ketten R der Wirkung der Widerstände gleich geworden ist. Demnach wächst der Kolbenhub genau proportional den Widerständen, nimmt auch proportional den Widerständen ab, wenn

diese geringer werden, abgesehen von den, in der That nicht grossen Reibungshindernissen der Kraftmessungsvorrichtung.

Der Schluss, den man daraus gezogen hat, dass in der Vorrichtung ein kraftmessender Umlaufsregler gegeben sei, ist falsch, indem man nämlich übersieht, dass der Kolbenhub ebenfalls vergrössert wird, wenn die Pressungen statt von der Widerstands-, von der Kraftquelle her wachsen. In diesem Falle müsste die Vorrichtung den Kolbenhub verkleinern; sie vergrössert ihn aber wie vorhin, sodass nun eine rasche Zunahme der Umlaufsschnelle herbeigeführt wird*). Die ganze Vorrichtung birgt zudem keine Bedingung in sich, derzufolge die Maschine eine gewisse Umfangsschnelle annehmen müsste. Bei ihren Ausführungen muss, wenn nicht ein anderer Gangregler zu Hülfe genommen ist, der Maschinenwärter die Regelung besorgen. Das thut er übrigens ohnehin, wenn die Maschine als Fördermaschine gebraucht wird. Ihrer Anwendungen scheinen immerhin nicht ganz wenige zu sein**).

Die Hebedaumen, von denen wir auf S. 264 eine neuere, sehr praktische Ausführung aus anderen Gründen besprachen, sind unrunde Scheiben mit Lücken in der Schubkurve, die dem Hebling freien Fall gestatten. Sehr häufig ist der Schubpunkt in eine Rolle eingeschlossen, oft aber auch durch eine „Latte“ ersetzt, die man als undrehbare Rolle von unendlich grossem Halbmesser ansehen kann. Anwendungen ausserordentlich häufig und wichtig im Hüttenwesen zum Zerkleinern von Erzbrocken und -Graupen. In den Goldbezirken Kaliforniens, Südafrikas und Australiens sind viele Pochwerke von Hunderten von Stempeln in Anwendung.

Der Hebedaumen mit gerader Latte bei bloss schwingend bewegtem Daumenkörper, Fig. 471 (a. f. S.), ist im amerikanischen Schiffsmaschinenbau, und zwar für die Balanciermaschine der Räder-

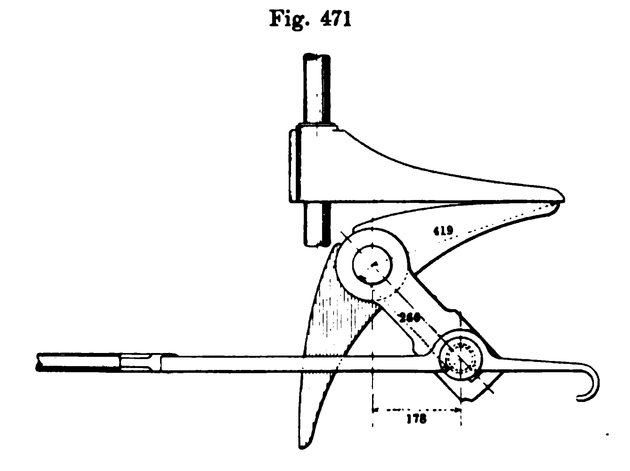
---

*) Schon Poncelet verfiel in den, hier leicht einschlüpfenden Irrthum mit seinem „momentanen Federregulator“, s. Schnuse's Uebersetzung, 1845, auch Bd. I, S. 84.

**) Vergl. Engineer 1878, August; ebenda 1880, April, S. 304 und Sc. American Supplement 1893, Febr., S. 14296. Nach der letzteren Quelle verfügte die London hydraulic power Company 1893 über 55 engl. Meilen Leitung mit ~ 53 at Wasserspannung in der Leitung und 46 an den Betriebsstellen, an welchen 1750 Maschinen, darunter 2 Peltonräder, in Betrieb waren; 4 Dampfmaschinen ertheilten dem Wasser seine Pressung. Vergl. auch G. R. Bodmer, hydraulic motors, London 1895, S. 533.

schiffe, sehr gebräuchlich, so alt die Steuerungsbauart auch ist — das erste Patent wurde 1799 ertheilt — und gilt immer noch als vorzüglich. Auch der S. 345 angeführte 7800pferdige „Puritan“ hat die schlichte Daumensteuerung. Als Ventile dienen die Docken-

Fig. 471



ventile*). Eine äussere Ansicht der Steuerung des dem Puritan ganz ähnlichen Dampfers „New York“ führt Fig. 472 vor Augen**).

Logarithmische Spiralscheibe. Unter den mancherlei spiraligen Kurven, die sich zur Verwendung an unrunden Scheiben darbieten, sei der logarithmischen oder geometrischen***) Spirale gedacht. Bei ihr wachsen die Fahrstrahlen geometrisch, während die Winkel arithmetisch zunehmen. Die Gleichung der Spirale ist:

$$\varrho = r e^{\frac{\omega}{m}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (68)$$

woraus folgt:

$$tg\,\alpha = \frac{d\varrho}{\varrho\, d\omega} = \frac{\frac{1}{m}\, r e^{\frac{\omega}{m}}}{r e^{\frac{\omega}{m}}} = \frac{1}{m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (69)$$

oder für den Winkel φ zwischen der Kurventangente und dem Fahrstrahl ϱ:

$$tg\,\varphi = m \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (70)$$

---

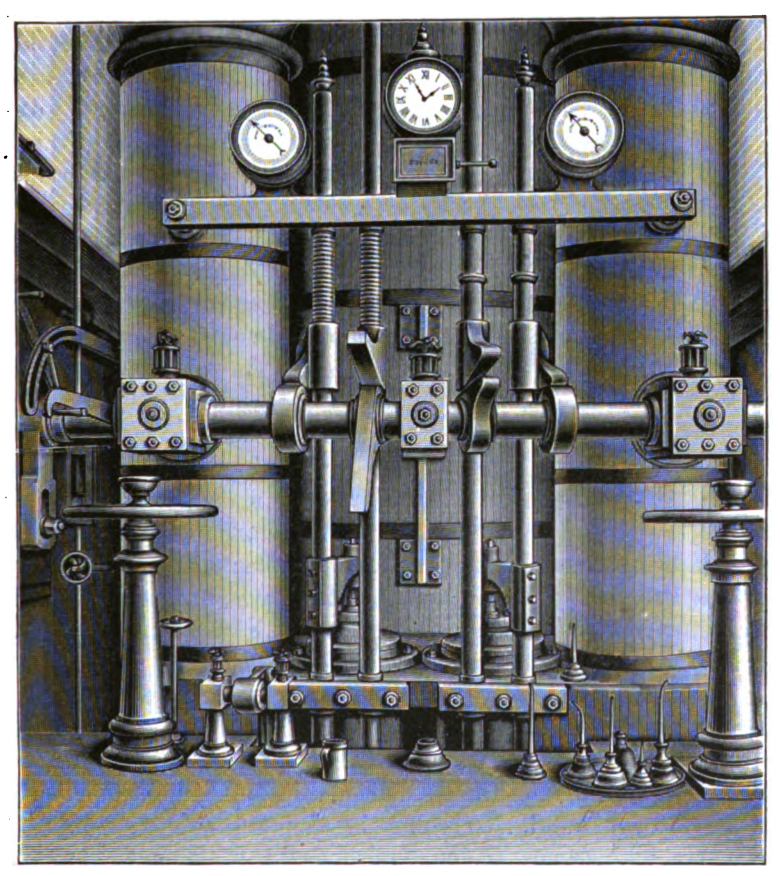
*) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 1127.

**) S. Transactions of the Am. Soc. of Mechanical Engineers 1898 (Bd. XIX) S. 453.

***) Bezüglich dieser Benennungen vergl. S. 25.

Für die Polbahn der Scheibe haben wir nun nach (65) $\varrho' = d\varrho : d\omega = \frac{r}{m} e^{\frac{\omega}{m}}$. Sie ist hiernach eine logarithmische Spirale vom Grundkreishalbmesser $\frac{r}{m}$, s. Fig. 473 (a. f. S.). Die Polbahn des Schiebers hat nach (66) eine Gleichung von der-

Fig. 472



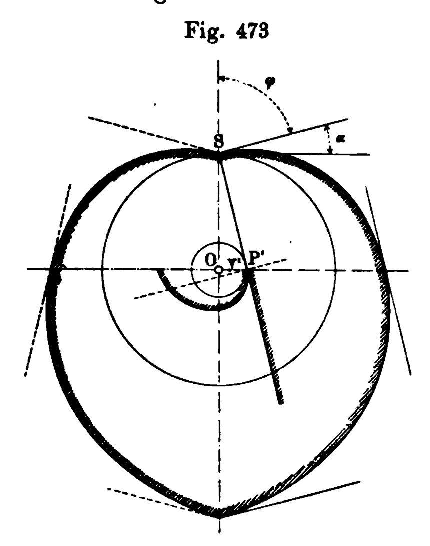
selben Form wie die der Scheibe, ist aber kleiner; wenn wir nämlich die Werthe durch ϱ ausdrücken, so haben wir:

$$y' = \varrho' = \frac{\varrho}{m} = \varrho \, tg \, \alpha = \varrho \, cotg \, \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (71)$$

Die Polbahn des Schiebers ist hiernach eine Gerade von der

Neigung α gegen die Schubrichtung; sie rollt auf der kleinen Spirale ϱ' (vergl. auch S. 56). Soll die Hauptspirale die Reibungen des Schiebers überwinden können, so muss nach S. 525 sein $tg\,\alpha$ oder $\frac{1}{m} < \frac{1-f_2 f_3}{f_2+f_3}$. Ob man sich der Kurve als gangbarer Schubkurve, die diese Bedingung erfüllt, bedient hat, ist nicht wichtig. Wohl aber bedient man sich ihrer gern in solcher Form, dass man α grösser, und zwar wesentlich grösser als diese Rechnung fordert, ausführt, sodass immer Todtlage für den Schiebertrieb entsteht, die nun dahin ausgenutzt wird, dass man die Scheibe hart und scharfkantig macht, sodass sie den als „Schieber" vorgelegten Körper durchschneidet; dies geschieht dann stets unter demselben Winkel mit der Schubrichtung, wie bei der Scheere S. 534. Die Schubkurve wird auf diese Weise zum umlaufenden Messer für Stroh, Baumrinde, Taback und Aehnliches, unter Umständen auch für Bleche und Verwandtes. Für die Profilirung des Messers bedarf man nur eines kurzen Abschnittes der Kurve; derselbe ist nach Nicholsons Verfahren wie folgt leicht zu verzeichnen, s. Fig. 474.

Fig. 473

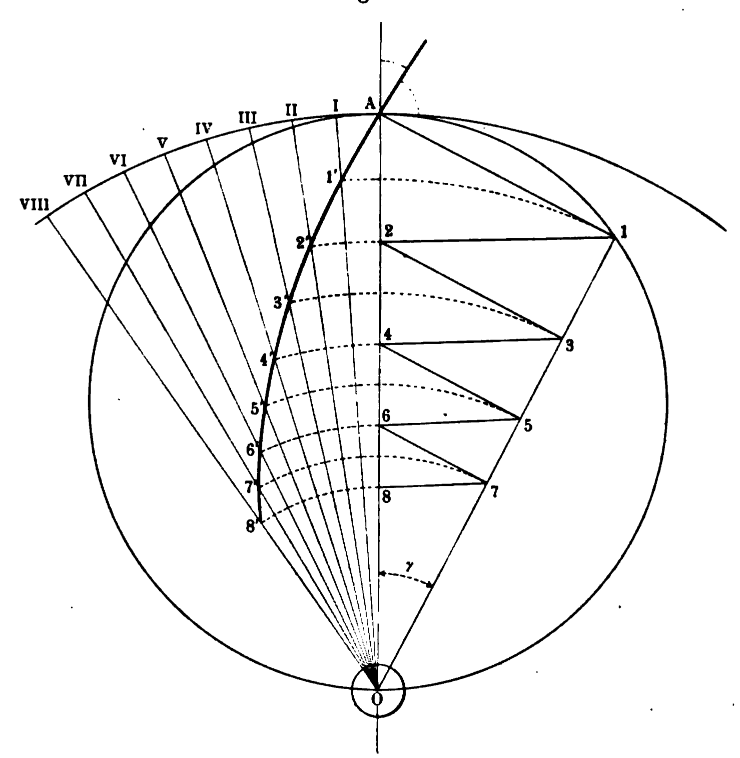


Ueber dem grössten Fahrstrahl OA des Kurvenstückes beschreibe den Kreis $A\,1.O\ldots$, trage von A aus die Winkel ω arithmetisch fortschreitend auf und ziehe die zugehörigen Strahlen OI, OII, OIII usw. Durch den als bekannt angenommenen, gewählten oder durch Rechnung bestimmten zweiten Punkt 1' der Kurve schlage aus O den Kreisbogen 1'1 bis zum Schnitt 1 mit dem Kreis $O\,1.A$. Sodann ziehe die $1.2 \perp OA$, $2.3 \perp O1$, $3.4 \perp OA$, $4.5 \perp O1$ usw., so sind die Abschnitte $O1$, $O2$, $O3$, $O4\ldots$ die gesuchten Fahrstrahlen. Sie verhalten sich wie $\cos\gamma : \cos\gamma^2 : \cos\gamma^3 : \cos\gamma^4 \ldots$, also geometrisch abnehmend, wie gefordert.

Kreisförmig schiebende unrunde Scheiben. Diese werden sehr häufig angewandt, um den mannigfachsten Zwecken

zu gesetzmäfsig vor sich gehenden Verschiebungen zu dienen; ihre Anwendung in Arbeitsmaschinen ist im Steigen begriffen. Als Beispiel sei eine Blechscheere von Kircheis in Aue in Sachsen*) vorgeführt. Hier dient, s. Fig. 475 (a. f. S.), eine unrunde Scheibe zum Halten und Wiederloslassen einer von der Scheere CC_1 abzuschneidenden Platte. Der Halter D wird durch den Kurbeltrieb

Fig. 474



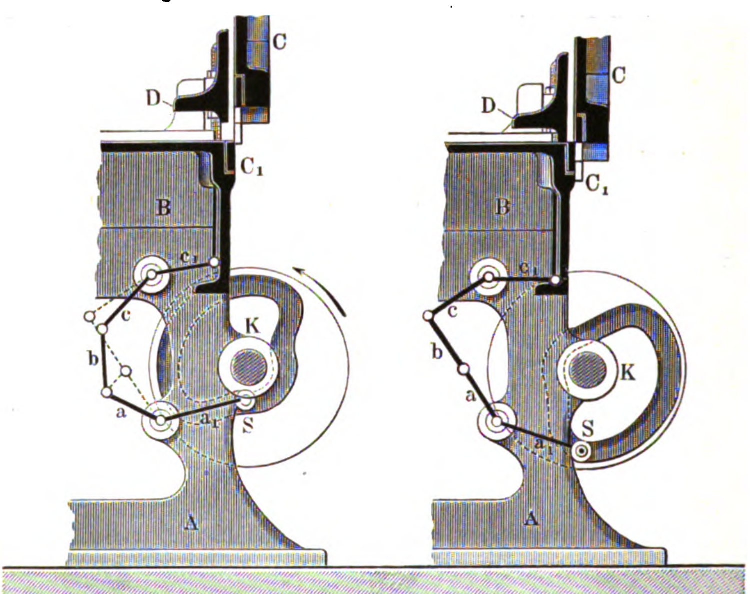
$abcc_1$ gegen das Werkstück und das Gestell B gepresst und in dieser Stellung eine Zeitlang erhalten. Dabei befindet sich der Kurbeltrieb in einer Todtlage, die Schubkurve arbeitet also währenddessen ohne Reibung.

Die statt der Rinne zum Paarschluss verwendete „Gegenscheibe" kann mit der Hauptscheibe auch zusammenfallend gemacht werden, wenn Auf- und Niedersteigungen des Heblings

*) S. Zeitschr. für Blechindustrie 1892, Nr. 22.

regelmäfsig aufeinanderfolgen, wie in Trumps Laubsägentrieb, Fig. 476; die absteigenden Kurventheile müssen genau auf dem Schubbogen soviel einwärts schreiten, als die aufsteigenden auf diesem Bogen auswärts schreiten.

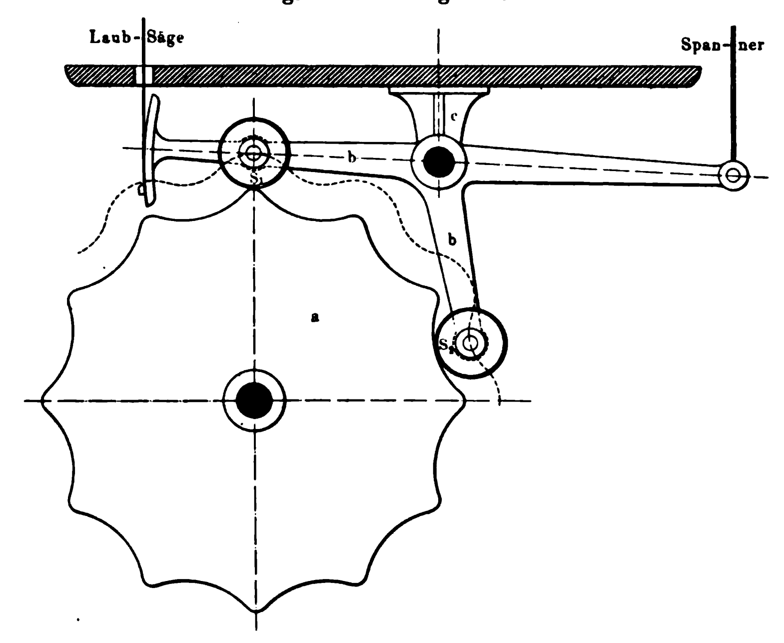
Fig. 475 Kurvenschub an einer Blechscheere



Der nahezu scharfe Zahn, den wir in den theoretischen Formen der Schubkurventriebe gebraucht haben, aber durch Rollenumfassung oder Abrundung an schädlicher Einwirkung auf die Kurve hinderten, kann unter Umständen dennoch praktisch verwerthet werden, nämlich zum Führen eines Schlitzbohrers oder Rinnenbohrers, der die Kurvenrinne in den Zain einer Kurvenscheibe eingraben soll, s. Fig. 477. Eine Lehrplatte, die die theoretische Kurvenform als Umrisskurve an sich trägt, wird auf der Rückwärtsverlängerung des Zains so befestigt, dass ihre „Stellungslinie“ mit einem Ausgangsdurchmesser AA_1 der Zainfläche geometrisch zusammenfällt. Der mit nahezu scharfem Zahn bei S ausgerüstete Hebling kann dann vermittelst der Achse W einen Arm von derselben Länge und Lage, und mit ihm den Rinnenbohrer führen. Sollten sich an der Kurve Stellen finden, bei denen der Winkel α für den scharfzähnigen Angriff zu gross wäre, so kann man von dem oben gefundenen Satz

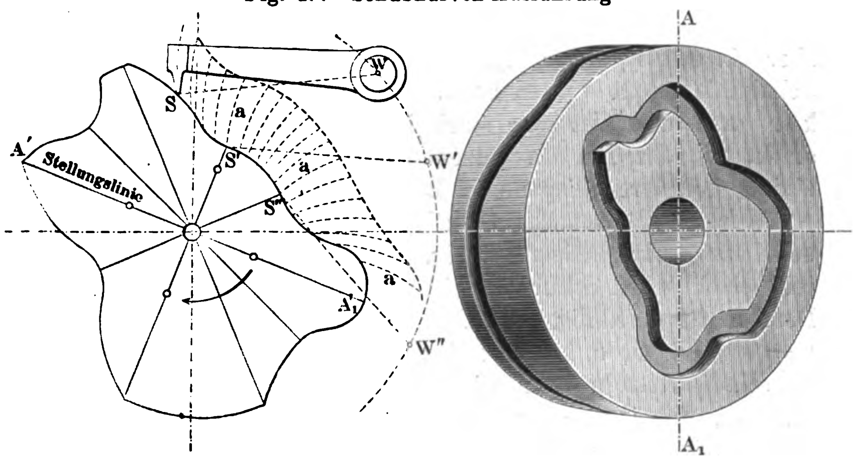
Gebrauch machen, dass die „Erweiterung“ am Schubgesetz nichts

Fig. 476 Laubsägentrieb



ändert. Man kann dann nämlich durch Anbringung einer auf

Fig. 477 Schubkurven-Ausführung



die Heblingskreise aufzutragenden Erweiterung a, s. die Figur, ein neues Profil für die Lehrplatte bilden, das keine Todpunkte

mehr darbietet. Für den langsamen und sorgfältig überwachten Betrieb des Einschneidens der Kurvenrinne reicht die kraftschlüssige Führung des gehärteten Zahns an gehärteter Lehrplatte aus.

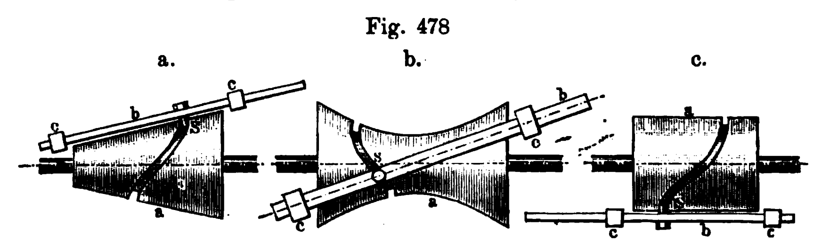
Ausser der geradlinigen und der kreisförmigen können auch noch höhere Formen der Heblingsbewegung gefordert sein; wir werden auf diese selteneren Fälle später zurückkommen.

§. 83

Uebertragung der Schubkurven auf andere Drehflächen

Die radial wirkende Scheibenkurve kann man auch auf einen Kreiskegel verlegen, dessen Kante nach sodann der Schub stattfindet, s. Fig. 478a. Hat die Scheibe tangentialen Schub, so wird die Drehkörperfläche ein Drehungshyperboloid, s. Fig. b, oder

Fig. 478

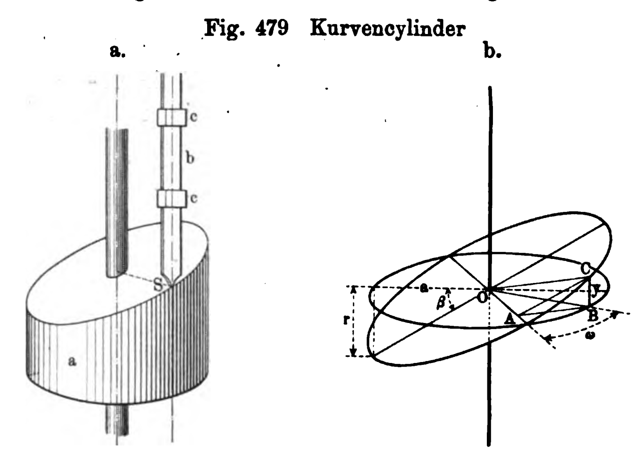


aber ein Kreiscylinder Fig. c, wofern die Drehachse parallel zur Schublinie gelegt werden kann. Dieser letztere, der „Cylinderkurvenschub“, ist sehr stark im Gebrauch, vielleicht ebenso stark, wie der Kurvenscheibentrieb (vergl. auch Fig. 477); auf einige besondere Beispiele sei kurz eingegangen.

Der ebene, schräge Cylinderabschnitt liefert als Cylinderschubkurve eine Ellipse, s. Fig. 479a, die dem Schieber einen rein sinoidischen Schub ertheilt, wie die Kreuzschleife, S. 278. Denn man hat, s. Fig. 479b, $BC = AB\,tg\,\beta = OB\sin\omega\,tg\,\beta$, oder $y = a\,tg\,\beta\sin\omega$, d. i. $y = r\sin\omega$, da $a\,tg\,\beta$ eine feste Grösse ist. In seinen Ausführungen wird der Trieb die „schiefe Scheibe“ genannt, wobei eine kugelig profilirte Rolle paarschlüssig die flachen Ränder der Scheibe berührt, s. Fig. 480. Bei der Furnier-Schälmaschine von Fleck Söhnen in Berlin verleiht eine schiefe Scheibe dem spiralig vordringenden Messer den sog. ziehenden

Schnitt; an der Nähmaschine *Silencieuse* dient eine schiefe Scheibe als Vorschieber; bei den Nitschelwalzen der Vorspinnmaschinen bildet sie das drehungslose Vorgespinnst, an Druckmaschinen allerlei Art bewegt sie die Farbreibwalzen längsweis hin und her.

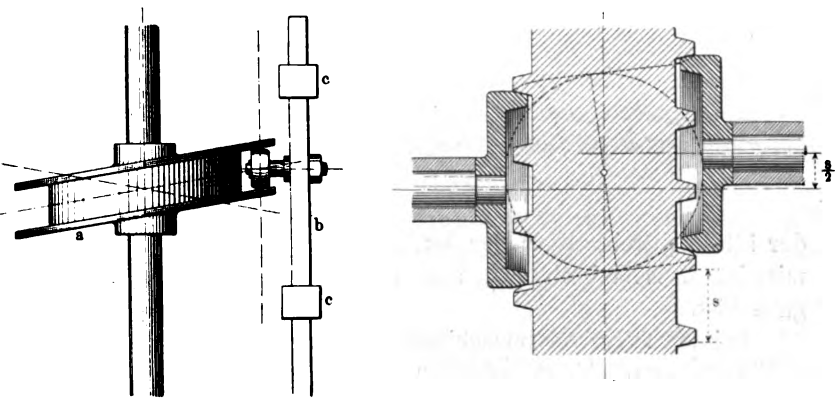
Fig. 479 Kurvencylinder



Viel angewandt als Cylinderschubkurve ist die Normalschraube zu mancherlei Betriebszwecken. Whitworth benuzte den Trieb zum Bewegen des Hobelmaschinentisches, indem er Ringrollen,


Fig. 480 Schiefe Scheibe

Fig. 481 Whitworth's Hobeltischtrieb



die drei Steigungen umspannten, anwandte, s. Fig. 481, die fast genau spielfrei zwischen die Gangflächen treten.

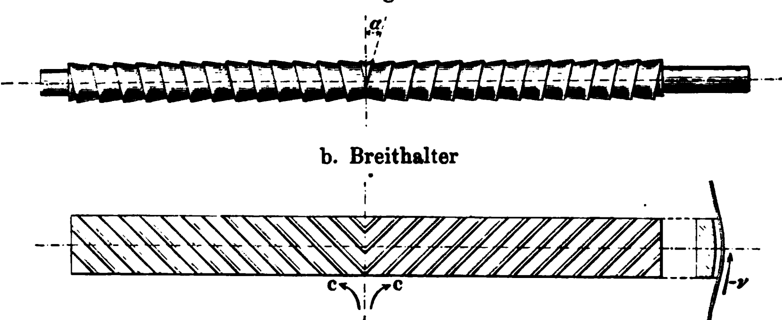
Der „Schrauben-Gill" der Flachsspinnbank enthält in der, durch Westlay & Lawson 1833 eingeführten Form zwei Paare

durch Zahnräder verbundener Schubschrauben, die eine Anzahl Flachskämme langsam und thätig vor-, und dann leer schnell zurückbefördern*). Bei Turbinen- und Wasserradschützen hat man die, auf Cylinderform gebrachte Einrichtung von Fig. 462 öfter benutzt**).

Die „Breitlegeschrauben", die man bei der Bearbeitung von Leinen- und Wollenstoffen anwendet, sind Cylinder-Schubkurven in Zwiselschraubenform, s. Fig. 482 a; sie fassen mit ihren

Fig. 482

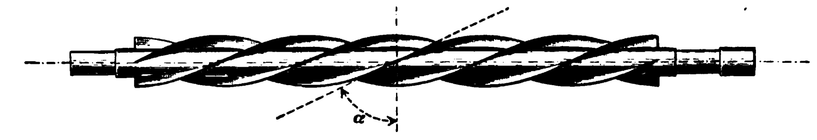
a. Breitlegeschraube



Schraubenkanten den Stoff und schieben ihn, so weit er nachgibt, von der Mitte beiderseits nach aussen. Eng verwandt ist

Fig. 483

Tuchscheermesser



der ältere „Breithalter" der Tuchwaschmaschine, Fig. 482 b, der mittelst Zwiselkeilschubes, also als Plankurventrieb, die Aufgabe löst.

Bei den Tuchscheermaschinen dienen schraubenförmige Messer, s. Fig. 483, zum Abscheeren der Fasern des über eine Kante vor ihnen hergezogenen Tuches. In diesen „Scheerwalzen" erkennen wir abermals Schraubenschubtriebe, denen aber eine so starke

---

*) S. Engineers and Machinists Assistant, S. 109, Taf. 110—113, Modell im kinematischen Kabinet der K. Techn. Hochschule zu Berlin.

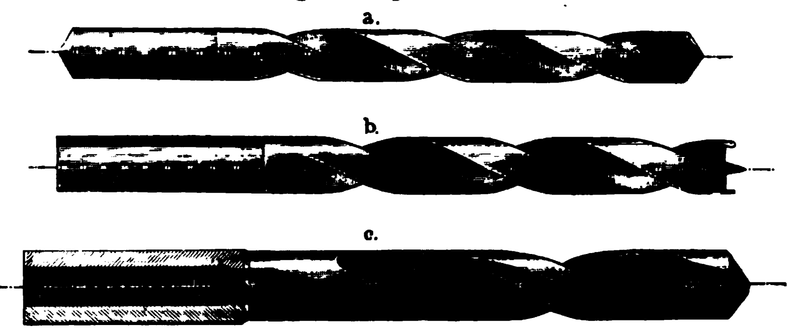
**) Vergl. Bodmers Hydraulic motors, S. 174.

Steigung gegeben ist, dass der Steigungswinkel α sehr weit den Gangbarkeitswinkel aus Formel (60) übertrifft. Es besteht demzufolge hier stets Todtlage zwischen Kurve und Schieber, wie beim Spiralmesser, S. 545, und der Scheere, S. 534, sodass bei der geringen Querfestigkeit der Fasern ein Abscheeren derselben ohne Schiebung die Folge sein muss*).

Hier seien die sog. „Spiralbohrer" erwähnt, deren Fig. 484 drei Formen darstellt, a für Metalle verschiedener Art, b für Holz, c für Stahl insbesondere. Hier dienen die Schrauben-



Fig. 484 Spiralbohrer



kanten nicht zum Schneiden, sondern, trotz dem beträchtlichen Steigungswinkel, zum Fortschieben der Bohrspäne, die die Schneidkanten im Bohrlochgrund ablösen. Die schraubenförmige Kehle muss deshalb glatt gehalten sein, damit ihre Reibung (f_2) an den, den Schieber *b* vorstellenden Spänen klein ausfällt. Bei dem Stahlbohrer unter *c* findet durch schraubenförmige Kanäle Oelzufuhr unter hohem Druck statt, wie S. 511 bereits erwähnt wurde; dieser Oeldruck wirkt fortschiebend mit**).

Wird kreisförmige Heblingsbewegung ausserhalb der Scheibenebene verlangt, so führt dies zur globoidischen Drehfläche des Kurvenkörpers***). Fig. 485 (a. f. S.) zeigt schematisch drei der-

---

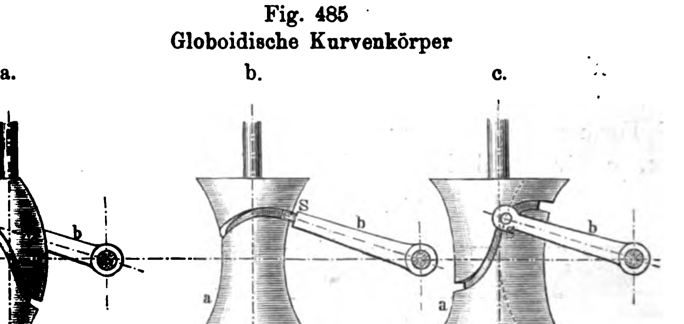
*) Wie stark technische Gewohnheit ist, zeigt sich bei den Tuchscheermaschinen bezüglich der Fremdwörterfrage, indem man bei ihnen immer noch, wie vor zwei Menschenaltern, von „Transversal-" und „Longitudinal-", statt von Quer- und Längsscheermaschinen spricht und druckt.

**) Die Oelkanälchen werden geradachsig gebohrt und danach bei Rothglut des Bohrerschaftes gewunden.

***) S. die zusammenfassende Darstellung der „Globoide" im Konstrukteur IV. Aufl. S. 569 ff.; s. daselbst auch S. 573 das Stephenson'sche Steuerhebelgetriebe, das ein Globoid-Schubkurvenwerk nach Fig. 417a ist.

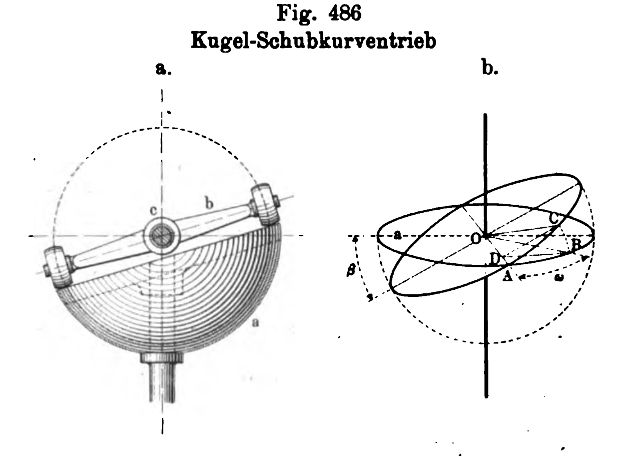
artige Kurvenschubtriebe mit rechtwinklig geschränkter Achse des Heblings; auch solche mit schiefwinkliger Achsenschränkung sind möglich. Alle sind angewandt, obwohl weit weniger häufig, als

Fig. 485
Globoidische Kurvenkörper



die vorher behandelten Triebe. Das einfachste Globoid ist die Kugel, und der einfachste daraus erhaltbare Trieb der in Fig. 486 a dargestellte, den der Verfasser angegeben hat*). Man hat,

Fig. 486
Kugel-Schubkurventrieb



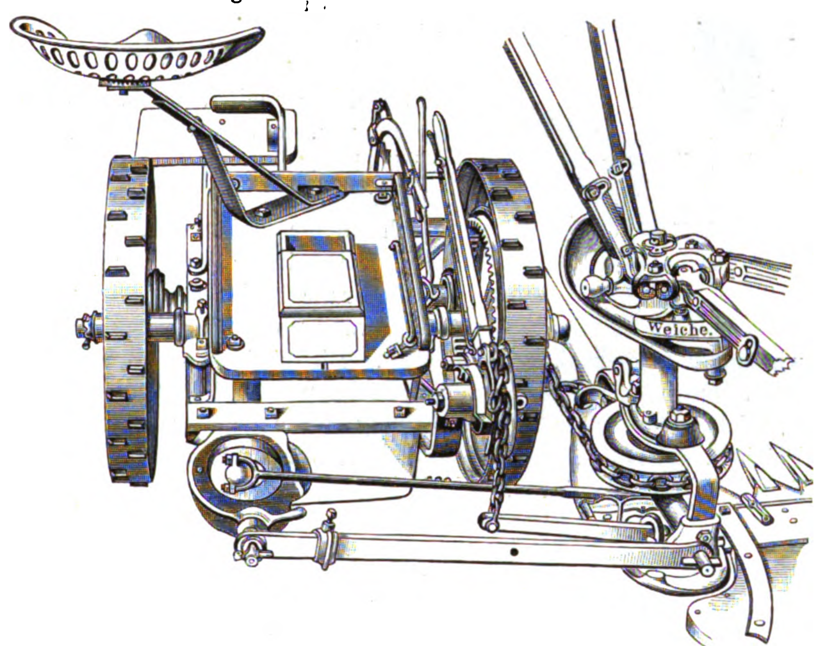
s. unter b, $\widehat{BC} = DC.\beta = DB.\beta = OB \sin \omega . \beta = a.\beta \sin \omega$, worin wieder $a.\beta$ eine feste Grösse ist.

Eine sehr bemerkenswerthe Anwendung der Globoidschubkurven findet in dem Raffwerk der Samuelson'schen Mähmaschine

*) Modell im kinematischen Kabinet der Techn. Hochschule zu Berlin.

statt. Hier werden, s. Fig. 487, Raff- und Streichbretter mittelst Globoidkurven gehoben und gesenkt, überhaupt geführt. Die Schubkurve steht fest, während die Heblingsarme darüber hingeführt werden — kinematische Kettenumkehrung —, die Schub-

Fig. 487 Samuelson'sche Mähmaschine

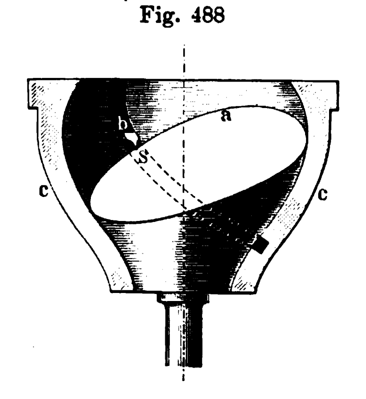


kurve ist sogar veränderbar gemacht, indem eine Nebenkurve als Weiche mittelst eines Tretschemels eingestellt wird, wenn gerafft, d. i. abgestrichen werden soll. So hat ein Schubkurventrieb sehr hoher Art bei einer derben landwirthschaftlichen Maschine seinen Platz gefunden und eine glückliche Lösung einer ungemein schwierigen Aufgabe ermöglicht. Scheerenbetrieb nach der auf S. 534 besprochenen Art findet übrigens auch bei dem Messerwerk derselben Maschine Anwendung.

In Fig. 488 (a. f. S.) sei nun noch eine besondere Gattung des Schubkurventriebes angeführt, bei der die Schubkurve aus einem Drehkörper a herausgeschnitten ist und die vom Schieber b am Rande bei S durchlaufene Kurve einem Hohldrehkörper c angehört, der den ersten Drehkörper deckt. Die Drehung von a in c bewirkt Schiebung von b. Wir sehen den Grundfall aus Fig. 450 in der

Form vor uns, dass die Schubkurve *AB* und der Schieberweg *ST* zwei einander deckenden Drehkörperflächen angehören. Wie der Voll- und der Hohldrehkörper ineinander gebracht sind, bleibe hier unerörtert; der Fall ist aber möglich, und, wie sich später zeigen wird, praktisch sogar sehr wichtig.

Fig. 488



Eine noch höhere, ja die höchste Form des Grundfalles Fig. 450 erhalten wir, wenn wir *AB* und *ST* zwei einander deckenden Normalschraubenflächen angehören lassen. Auch dieser Fall, der, wie der vorige, scheinbar aus der praktischen Brauchbarkeit heraustritt, hat seine wesentliche Bedeutung, worauf wir unten zurückzukommen haben. Die drei Fälle — Ebenenpaar, Drehflächenpaar, Schraubenflächenpaar — sind die einzig möglichen der unter steter Deckung gegeneinander bewegbaren Flächen, dieselben, die den drei Umschlusspaaren (vergl. Bd. I, S. 90) zu Grunde liegen.

§. 84

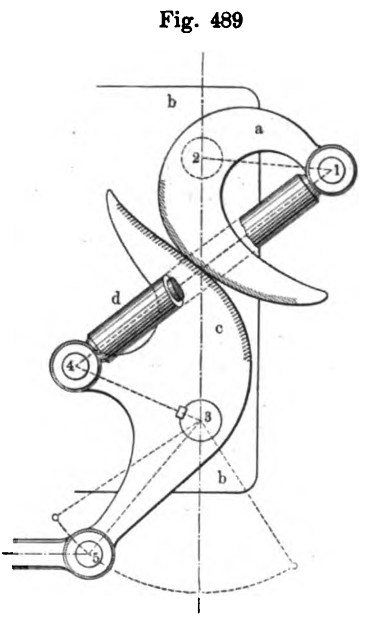
Grenzen der Kurventriebe

Die im Vorausgehenden besprochenen oder auch nur gestreiften Beispiele von Kurventrieben haben gezeigt, dass auch diese Mechanismen ein sich weit dehnendes Anwendungsgebiet haben; unten werden wir noch mehr davon zu sprechen haben. Dieses Gebiet hat aber auch seine deutlichen Grenzen und zwar an zwei Stellen. Die eine liegt da, wo das Bereich der Zahnräder beginnt. Unsre Kurventriebe dienen nämlich durchweg dazu, hin- und hergehende, hin- und zurückgehende oder Kehrbewegungen zu erzwingen, nicht aber dazu, stetige oder Fortdrehungen und dauernde Bewegungen einerlei Sinnes zu übertragen, wie die Zahnräder. Der Grenzfall zwischen beiden Gebieten ist die Zahnstange mit Trieb, da auch dieser Mechanismus wegen der Begrenztheit der Zahnstange nur hin- und zurückgehende Bewegung vermittelt, wobei aber wegen der gleich-

förmigen Uebertragung seine Kurven nicht die losgelöste Rolle spielen wie im Kurventrieb.

Die andere Grenze liegt bei den Kurbeltrieben. Diese sind viergliedrig, werden auch ab und zu dreigliedrig ausgeführt mit Hülfe der „Verminderung der Gliederzahl einer kinematischen Kette“ wovon im I. Bande, S. 333 ausführlich gehandelt wurde; dem Geübten wird es leicht, das „weggeminderte“ Glied in jedem besonderen Falle zu ersetzen oder ersetzt zu denken. Anders steht die Sache aber, wenn kein Glied weggemindert und dennoch die Dreigliedrigkeit eingeführt wird, wie wir das z. B. S. 184 bei dem Ventilhebelwerk gethan fanden, dessen Darstellung hier, Fig. 489, wiederholt ist. Hier ist Schubkurventrieb neben den Kurbeltrieb (C_4'') gesetzt. Die Kette ist doppelt geschlossen, wenigstens für den einen Drehungssinn, Rechtsdrehung des treibenden Gliedes *c*. Dafür dürfen aber die Kurven *c* und *a* auch keine andern, als die durch (C_4'') vorgeschriebenen Polbahnen sein. Das vorliegende Hebelwerk wird demnach nicht zu den Kurventrieben zu rechnen sein. Wir werden also überhaupt an dieser Stelle die Grenze da zu ziehen haben, wo der Kurventrieb nur den Kurbeltrieb zu ergänzen oder — was nur bei hin- und hergehenden Bewegungen gelten kann — allenfalls zu ersetzen bestimmt ist.

Fig. 489



Innerhalb der beiden Grenzen: Zahnstangentrieb und Kurbeltrieb liegen die zahllosen Fälle, in denen der Kurventrieb seine Anwendungen findet und oft die vorzüglichsten Dienste leistet, wie unsre, wenn auch an Zahl beschränkten, Beispiele gezeigt haben.

Es kann hier noch die Frage aufgeworfen werden, ob nicht in den Kurventrieben auch Ersetzung eines Elementes durch Flude stattfinden könne. Die Frage ist zu verneinen. Zwar kommt Einwirkung von Kurvenscheiben und Kurvencylindern auf

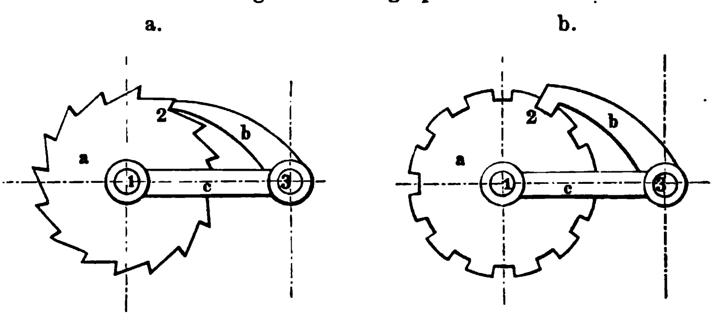
Flüssigkeiten wirklich vor in den Kreisel- und Schraubenpumpen und ähnlichen Maschinen; aber das sind gerade solche Einrichtungen, die jenseits der soeben gezogenen Grenze, nämlich bei den „Rädern“ liegen. Wir haben deshalb hier von ihnen abzusehen.

§. 85

Sperrtriebe

Wir gelangen nun zum letzten der auf S. 372 genannten Treibwerke oder Triebe, die die Maschinen zusammensetzen, dem Gesperrtrieb, oder, wie wir noch kürzer sagen dürfen, Sperrtrieb.

Fig. 490 Zahngesperre



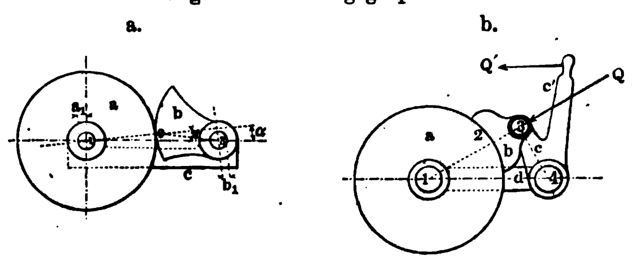
Derselbe ist aus den, schon S. 267 erwähnten Gesperren gebildet, deren Stammformen hier wieder dargestellt sind, Fig. 490, a laufendes, b ruhendes Gesperre mit kraftschlüssig eingerückter Klinke; die Verzahnung des Rades nenne ich bei a Zackenverzahnung, bei b Schartenverzahnung. Wir unterscheiden aber noch Zahngesperre und Reibungsgesperre; diese letzteren entstehen aus den vorigen, wenn man sich deren Verzahnungen bis zum Verschwinden verfeinert denkt. Fig. 491 a laufendes, b ruhendes Reibungsgesperre.

Die Gesperre sind in den hier vorgeführten allgemeinen Formen als Abarten der Zahnräder und der Reibräder zu erkennen. Als Abarten erweisen sie sich durch die Richtung der Kraft, mit welcher das Rad, oder allgemeiner das „Sperrstück“ auf die Klinke oder den „Sperrer“, wie wir auch sagen dürfen, wirkt. Oben, bei Besprechung der Verzahnungen, S. 458, hatten wir hervorzuheben,

(1) dass die Zahnformen so beschaffen sein müssten, dass ihre Normalen nicht viel von der Tangente an die sich berührenden Polbahnen der Räder abweichen sollten.

In der Fassung dieser Bedingung liegt der Gedanke am Tage, dass der Entwerfende es in der Hand hat, welche Richtung und Lage er den Normalen der Zahnprofile geben will; in der Zahnradbedingung wird ihm nur, der Brauchbarkeit seines Entwurfes wegen, dringend empfohlen, die Normalen nicht viel von

Fig. 491 Reibungsgesperre



der Tangente an die Polbahnen an deren Berührungsstelle abweichen zu lassen. Hier, bei den Gesperren, wird dagegen umgekehrt die Wahl so getroffen,

(2) dass die Druckrichtung ganz weit von der erwähnten Tangente abweicht, und zwar so weit, dass sie genau oder ganz nahe durch die Achse des Sperrers geht.

Die Folge davon ist, dass das Sperrad oder Sperrstück den Sperrer nicht bewegen kann, und zwar bei den ruhenden Gesperren in keiner Richtung, bei den laufenden in einer der beiden. Was die andere Umlaufrichtung im letzteren Falle betrifft, so ist die Hebung des Sperrers durch die Zahnrücken ein Fall des Kurvenschubs, §. 81. Die Bedingung (2) ist so allgemeiner Natur, dass sie auf sehr viele verschiedene Arten erfüllt werden kann, daher denn die Gesperre in sehr mannigfachen Formen ausführbar sind. Immerhin bedarf es einer gewissen Schärfe der kinematischen Untersuchung, um den einfachen, gemeinsamen Grundgedanken in den Einzelfällen herauszufinden.

Früher hat man die Gesperre und ihre Theile gar nicht zu den Maschinenelementen gezählt. Sie tauchten erst, mehr oder weniger plötzlich, bei den vollständigen Maschinen auf. Erst der Verfasser hat sie als zu den Maschinenelementen gehörig nach-

gewiesen und wissenschaftlich geordnet*). Die frühere Ordnungslosigkeit war geradezu erstaunlich. So z. B. fanden die Schlösser überhaupt gar keine Stelle im Maschinenbau, obwohl sie mit stetig wachsender Genauigkeit nach Formen und Ausführung, und ebenso „gelehrt“ wie die Zahnräder, in der Maschinenwerkstätte hergestellt wurden. Sie fanden, was ihre lehrhafte Behandlung angeht, als heimathlose Wanderer schliesslich Aufnahme in der mechanischen Technologie, wo doch nur ihre Herstellung besprochen werden sollte. Da sie nun theorielos dort anlangten, wurde ihnen eine so ausführliche Schilderung zu Theil (Prechtl, Karmarsch), dass ihr grundsätzlicher Inhalt unbeabsichtigter Weise geradezu erdrückt wurde von den Einzelheiten; zu diesen war man, wie es der Technologie entsprach, heraufgestiegen aus den Verfahrungsweisen des Handwerksmanns, nicht aber zu ihnen herabgestiegen von der klaren Höhe der Theorie.

Mit der Uhr gieng es ähnlich. So einleuchtend ihre Wesenheit als Gesperrtrieb ist, — wenn man es einmal weiss —, so ward sie durch die Schwierigkeiten der Schwingungsfragen aus ihrer Stellung als Mechanismus schon früh herausgerückt. Man fand ihre Gesperrelemente nicht im Maschinenbau vor, der doch ihre Zahnräder so ausführlich behandelte; aber in den Lehrbüchern der Physik und der allgemeinen Mechanik, da kam sie zur Besprechung, weil ihre Schwingungszeiten dazu Anlass gaben. Später erschienen sie dann in den Lehrbüchern der „allgemeinen Maschinenlehre“, und zwar unter den „Maschinen zum Messen und Zählen“, einer vermeintlichen theoretischen Klasse, die aber eine solche nicht ist, wie wir oben, S. 493, deutlich gesehen haben. Auch hier konnte ihr Wesen nicht klar werden, da in den Maschinenelementen ihre Grundlage fehlte.

Dass die Fangvorrichtungen der Bergwerke Gesperre sind, blieb unter der Wucht der fachlichen Einzelheiten unbemerkt. Eine bezügliche, vom Verein für Gewerbfleiss ausgeschriebene Preisaufgabe fand 1878**) eine ausführliche Lösung durch einen tüchtigen Fachmann; aber keine einzige der 80 von ihm beschriebenen Vorrichtungen erkannte dieser als Gesperre, während dadurch erst das eigentliche Licht in die Masse der Einzelfälle gekommen wäre.

*) Ausführlich in s. Konstrukteur, IV. Aufl. 1883, in gedrängter Kürze in Weisbachs Ingenieur VII. Aufl. S. 767 ff. 1896.

**) S. Berliner Verhandlungen 1879 S. 345.



Die Gewehrschlösser und die aus ihnen hervorgehenden Ausbildungen der Feuerwaffen überhaupt, die eine so wichtige Rolle in Krieg und Frieden spielen, grossartigen Industrien zu Grunde liegen, gewaltige Staatsausgaben veranlassen, also die Volksvertretungen überall ernstlich beschäftigen, den Schiessmaschinenbau auf die Rednerbühne gebracht haben, fanden gar keine Stelle in der Maschinenlehre, obwohl und trotzdem die Maschinen dieser Klasse zu ihrer hohen Vollkommenheit und heutigen Selbstthätigkeit rein nach den Grundsätzen des Maschinenwesens ausgebildet worden sind. Sie erweisen sich durchweg als Sperrtriebe.

In zahlreichen und hochwichtigen Arbeitsmaschinen beruht die Folge verschiedener Einwirkungen auf das Werkstück auf Sperrtrieben. Von den einfachen Vorschiebern in Nähmaschinen, Hobelmaschinen, Bestossmaschinen herauf bis zu den ausgeklügelten Stechern, Biegern, Kneifern in der Kratzenmaschine, die die feinen Drahthäkchen in Lederbänder setzt, und zum erfindungsgefüllten Spinnstuhl, den wir schon oben wegen seines Kurvenschubs als lehrreiches Beispiel zu erwähnen hatten, spielen die Gesperre eine Hauptrolle, wovon unten mehr.

Dämmeriges Dunkel liegt bei der alten Auffassung noch über den Ventilen. Schon im ersten Bande dieses Werkes hatte der Verfasser 1875 gezeigt, dass sie nichts anderes sind, als die Gesperre der Flude, dass sie genau wie die Gesperre der starren Elemente in laufende und ruhende zerfallen, überhaupt nicht bloss Aehnlichkeit mit ihnen besitzen, sondern ihnen gleich sind. Sobald diese begriffliche Auffassung klar erkannt ist und angewandt wird, gelangt man zu einer so bedeutenden Vereinfachung der Anschauungen, dass man hätte glauben sollen, sie würde rasch durchdringen, was aber wenig geschehen ist. Mit dieser Erkenntniss treten ausserdem auch zahlreiche Ventil-Maschinen, voran die gefeierte Dampfmaschine, in die schlichte, wohlgeordnete Reihe der Sperrtriebe und werden dadurch begrifflich als einfach und überschaubar verständlich.

Kurz, wir sehen, dass die Sperrtriebe überhaupt, wie schon in den vorausgehenden Besprechungen der Getriebe angedeutet wurde, bei weitem die meisten Anwendungen im Maschinenbau finden. Dasselbe Getriebe, das gar nicht vorkam mit seinen Elementen in den, als grundlegend angesehenen Betrachtungen der Maschine, ist dasjenige, das weitaus die meisten Anwendungen im Maschinenwesen findet, Anwendungen, die ausserdem die allerwichtigsten

sind. Um so weniger wird es erlässlich sein, hier diesen Trieben dieselbe Aufmerksamkeit zu widmen, die wir den fünf vorausgehenden zugewandt haben.

§. 86

Die verschiedenen Arten von Sperrtrieben

Die soeben hervorgehobene grosse Mannigfaltigkeit der Anwendungen der Sperrtriebe gibt dringend Veranlassung, dieselben entsprechend ihren Verwendungen in Gattungen zu theilen. Die folgenden sechs sind geeignet, den Ueberblick zu ermöglichen; wir wollen dabei die einzelnen Gattungen Treibwerke oder kurz „Werke“ nennen.

1) Sperrwerke schlechthin, Gesperre bestimmt zum blossen Aufhalten des gesperrten Stückes, zum jeweiligen Verhindern relativer Drehung oder Verschiebung. Beispiele: Gesperre einer Wagenwinde oder Domkraft, eines Krans, eines Zettelbaums.

2) Spannwerke, Gesperrtriebe wesentlich bestimmt, durch ihre Lösung die auf das gesperrte Stück wirkenden Kräfte in einem gegebenen Zeitpunkt zur Wirkung kommen zu lassen; das gesperrte Stück gibt nach der Lösung die, durch das Spannen aufgespeicherte mechanische Arbeit ganz oder theilweise plötzlich ab. Beispiele: die Gesperre an Rammen, an der Armbrust, an Flintenschlössern, an manchen Dampfmaschinen-Steuerungen.

3) Fangwerke, Gesperrvorrichtungen bestimmt, vor sich gehende Fortschreitungen von Maschinentheilen zu unterbrechen; Beispiele: die Fangvorrichtungen an Fördergefässen der Bergwerke, an Fahrstühlen.

4) Schaltwerke, Gesperrtriebe wesentlich bestimmt, dem Sperrstück eine absetzende Fortschreitung entgegen der Sperrkraft zu verleihen; Beispiele: die uralte, oft weitläufig beschriebene Hebelade*), viele Zählwerke, die Kolbenpumpe, die Feuerspritze.

5) Schliesswerke, Gesperrtriebe zur Bildung leicht lösbarer und dennoch widerstandsfähiger Verbindungen; Beispiele: Thür- und Fensterverschlüsse, die Schlösser, Sicherungen an Gewehren, Stromschliesser in elektrischen Leitungen.

6) Hemmwerke, Gesperrtriebe wesentlich bestimmt, das Sperrstück eine absetzende Fortschreitung im Sinne der Sperr-

---

*) Bei Rühlmann, Maschinenlehre V, vier ganze Seiten einnehmend; s. auch Weisbach-Herrmann III 2, S. 6.

kraft — also entgegen der Richtung im Schaltwerke — machen zu lassen; Beispiele: die gebräuchlichen Uhrhemmungen und zahlreiche Fludgetriebe.

Prüft man diese knappe Aufzählung, die trotz ihrer Kürze die vorhin erwähnte Mannigfaltigkeit bestätigt, so erklärt sich letztere daraus,

dass das Gesperre sowohl relative Fortbewegung wie die andern Getriebe, als relativen Stillstand

zu vermitteln gleichzeitig geeignet ist. Das bedeutet Reichthum. Nach diesen beiden Eigenschaften könnte man die aufgezählten sechs Treibwerke noch unter sich ordnen, indem die

Sperr-, Fang- und Schliesswerke

dazu dienen, Bewegungen zeitenweis unausführbar zu machen, dagegen die

Spann-, Schalt- und Hemmwerke

dazu, Bewegungen zeitenweis stattfinden zu lassen. Diese Bewegungen, weil nur zeitenweis stattfindend, sind also unstetig, während die in den fünf andern Trieben — Schrauben-, Kurbel-, Räder-, Rollen-, Kurventrieb — stetige Bewegungen waren. Treibwerke für stetige Bewegungen kann man*) „Laufwerke“ nennen. Dem gegenüber lassen sich die Bewegungen, die die drei letztgenannten Sperrtriebe einleiten, als Schritte, die Triebe selbst als Schrittwerke bezeichnen. Der Unterschied zwischen beiden ist wesentlich.

Unsre Kolbendampfmaschine ist ein solches Schrittwerk. Soll sie Drehbewegungen bewirken, so suchen wir sie durch das Schwungrad zu befähigen, nahezu wie ein Laufwerk auf die Drehwelle zu wirken, worauf wir später nochmals zurückkommen müssen. Sehr bemerklich ist das Bestreben des Maschinenbaues, das Laufwerk an die Stelle des Schrittwerkes zu setzen. Der Morse-Telegraph ist ein Schrittwerk, der Lewis-Telegraph ein kühn an seine Stelle gesetztes Laufwerk, kühn, weil die gleiche Schnelle der Laufwerke an den beiden Endpunkten der Strecke fast unmöglich zu erreichen schien. Die Elektrik gieng früher auch vom Schrittwerk aus; seit Ferraris' Entdeckung oder Erfindung ist sie auf dem Laufwerk angekommen, mit dem sie so überaus glücklich wirkt; ja ihre eigentliche volle Entwicklung knüpft sich an den

*) Wie ich im ersten Bande, S. 486, vorschlug.

Zeitpunkt dieses Ueberganges. Das Laval'sche Dampfrad (S. 502) und die Parsons'sche Dampfturbine (S. 503) sind deutliche und wichtige Aeusserungen ganz desselben Bestrebens, das Laufwerk an die Stelle des Schrittwerks zu setzen; Schlick macht in seinen Kurbelstellungspatenten andrerseits die grössten Anstrengungen, das Dampf-Schrittwerk auf dem Dampfer seine treibende Wirkung laufwerkartig ausüben zu lassen. Auch an vielen andern Stellen (bei den Arbeitsmaschinen) tritt dieses Bestreben deutlich hervor; die fortwährende Zunahme der Verwendung der Fräse ist ein deutliches Kennzeichen hiervon, ebenso die der Bandsäge an Stelle der Gattersäge und anderes mehr.

§. 87

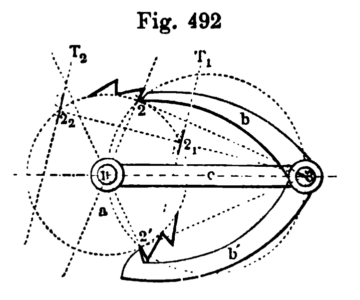
Zahngesperre

Wir betrachten zunächst in kurzem Ueberblick die Zahngesperre an sich, ohne Rücksicht auf die im vorigen Paragraphen aufgezählten sechs Anwendungsarten, um ihre Formabwandlungen übersichtlich zu machen.

a) Laufende Zahngesperre

Bei ihnen heisst die nicht gesperrte Bewegung der Vorwärtsgang, die andere, nach Auslösung eintretende, der Rückwärtsgang. Man kann die Sperrung durch eine Druckklinke *b*, Fig. 492, oder durch eine Zugklinke *b'* ausüben lassen. Beachtet man die oben (S. 556) erwähnte Herleitung der Zahngesperre aus den Zahnrädern, so erkennt man aus den Drehrichtungen der beiden Klinkenformen, dass zwischen *b* und *a* äusserer, zwischen *b'* und *a* innerer oder Hohlrad-Eingriff stattfindet.

Fig. 492

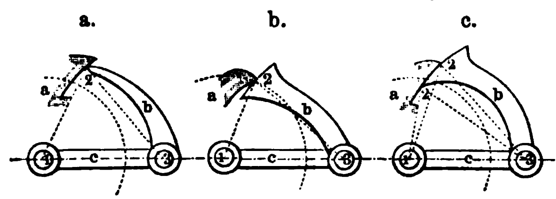


Derjenige Angriffspunkt der Klinke am Radumfang, bei dem der Druck auf die Klinkenspitze am kleinsten ausfällt, ist der, dessen Verbindungslinie 2.1 mit dem Radmittel rechtwinklig zum Klinkenradius 2.3 oder 2'3 steht. Die Punkte 2 und 2' liegen in einem Kreise über 1.3 als Durch-

messer. Alle übrigen Angriffspunkte, wie 2_1 und 2_2, lieferen geringere Hebelarme, also grössere Klinkendrucke*).

Die Kraft, mit der das Rad auf die Klinke wirkt, geht, wenn die Sperrflanke des Zahnes bei 2 und 2′ radial ist, genau durch die Drehachse 3 der Klinke. Soll dieser günstigste Angriff nicht bloss für den Lückengrund, sondern für alle Punkte der Zahnflanke gelten, so kann dies bei den drei in folgender Fig. 493 an-

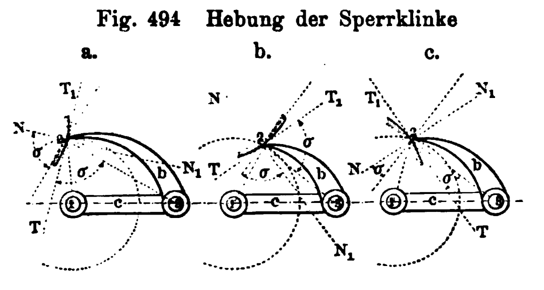
Fig. 493 Todte Verzahnung



gedeuteten Gestaltungsarten geschehen, nämlich wie unter a, wenn man die Zahnflanke nach einem Kreisbogen aus 3 profilirt und die Klinke kantig enden lässt, oder wie unter b, wenn man die Klinke nach diesem Kreisbogen und den Zahn kantig formt, oder wie unter c, wenn man beide nach diesem Kreisbogen profilirt. Die Verzahnung heisse in allen drei Fällen todte Verzahnung.

Ist die Verzahnung nicht todt, wie nach der zweiten Bedingung von S. 556 angeht, so kann die Sperrkraft unter Umständen die Lage der Klinke ändern. Eine solche Lagenänderung nennt man „Hebung“ der Klinke. Hebung tritt zwar nicht ein, wenn, obwohl die Verzahnung nicht geometrisch todt ist, siehe Fig. 494 unter a, die Normale NN_1 zur Zahnprofiltangente in 2 um weniger als den Reibungswinkel von der 2.3 abweicht. Weicht sie aber um mehr ab, so bewirkt die Sperrkraft entweder „Hebung nach innen“ wie unter b, oder „Hebung nach aussen“ wie

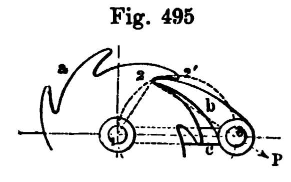
Fig. 494 Hebung der Sperrklinke



*) Die Normalen $T_1 2_1$, $T_2 2_2$ usw. zum Klinkenradius hüllen die Aeste einer Hyperbel ein, deren Asymptoten die 2.1 ... und 2′1 ... sind.

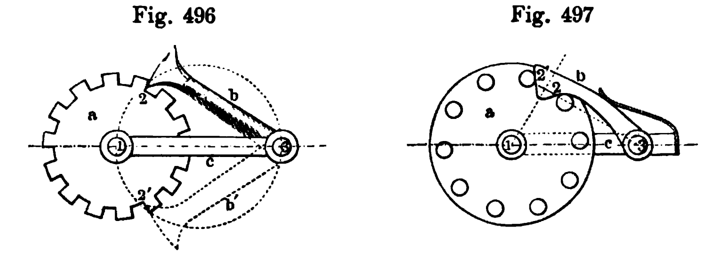
unter c, Fig. 494. Solche Hebung kann schädlich sein, wird aber auch sehr oft nützlich gemacht. In ausgedehntem Maſse geschieht letzteres bei den Uhrwerken, wovon später. Aber auch schon bei den Sperrwerken der Winden und Krane wendet man der Sicherheit wegen Hebung nach innen an in der Weise, die Fig. 495 vor Augen führt; hier zwingt die Zahnflanke die Klinke, in die Tiefe der Lücke zu dringen. Bei der „Ruhrast" der Jagdgewehr-Schlösser verhütet eine ganz ähnliche Formung das „Abziehen" mittelst des Drückers.

Fig. 495



Wirksame Verzahnung, also nicht „todte", ist bei allen laufenden Gesperren der Rückenflanke der Zähne gegeben, die demnach die Klinke aus dem Eingriff „hebt". Die Profilirung auf Hebung kann indessen, statt am Rade, auch an der Klinke angewandt werden. Dies ist z. B. der Fall bei dem Gesperre in Fig. 496, wo die Klinke gegen den Rückwärtslauf von a todte

Fig. 496 Fig. 497



Verzahnung nach Fig. 493 c, gegen Vorwärtslauf aber, und zwar auf beiden Seiten, hebende Verzahnung hat; in Folge dessen kann sie in die Lage b' umgeklappt werden, wodurch sie das Gesperre in ein solches für umgekehrte Drehrichtung verwandelt.

Dieses Beispiel zeigt nebenbei, dass die Schartenverzahnung aus Fig. 490 b auch zu laufendem Gesperre geeignet sein kann, dass also, wie bei den Zahnrädern überhaupt, die beiden zusammenwirkenden Zahnformen, die an Rad und Klinke, an Sperrstück und Sperrer, für den beabsichtigten Bewegungszwang maſsgebend sind. Es schliesst sich aber auch noch die Folgerung an, dass nicht nur das Rad hebend auf die Klinke, sondern auch die Klinke beim Einlegen treibend auf das Rad wirken kann. Solches geschieht z. B. in dem Gesperre, das Fig. 497 darstellt. Hier besitzt die Klinke zwei hebbare, beide zum

Eingriff geeignete Flanken, 2 dem äusseren Eingriff, 2′ dem inneren Eingriff (vergl. Fig. 492) entsprechend. Der bisher stets vorausgesetzte Kraftschluss ist hier ausdrücklich durch eine Feder deutlich gemacht, die die Klinke nach 1 hintreibt. Das Rad kann nun die Klinke heben, sobald es mit genügender Kraft angetrieben wird, ist aber gesperrt gegen kleinere Kräfte*). Ist bei solchen die Klinke noch nicht völlig eingerückt, so zwingt sie ihrerseits das Rad, zu gehen bis sie ganz eingetreten ist. Dieses kurze Rücken des Rades findet nach links oder nach rechts statt, je nachdem die Klinke nach rechts oder nach links etwas über einen Zahnscheitel hingetreten war. In der Scheitelstellung und nahe dabei steht die Klinke auf der Kippe für einen Ruck nach rechts oder links; ich nannte deshalb das Gesperre ein „Kippgesperre“. Solche Gesperre sind mannigfach im Gebrauch und erweisen sich als sehr nützlich, u. a. bei den Rechenmaschinen.

Die Innen- oder Hohlradverzahnung liefert die zwei Grundformen, die Fig. 498 darstellt. Unter a innen angreifende Zugklinke von günstigstem Kraftverhältniss wie oben in Fig. 492 bei

Fig. 498 Hohlradgesperre

2, und zwar auch wie dort gegensinniger Drehung entsprechend; eine Klinke 3.2′ würde gleichsinniger Drehung entsprechen. Unter b Druckklinke, innen eingreifend, Hohlradverzahnung. Hier ist, da der Punkt 3 innerhalb des Zahnkreises fällt, die günstigste Kraftgrösse von Fig. 492 nicht zu verwirklichen.

Die Grössen von *a* und von *b* oder die Werthe von 1.2 und 3.2 sind nun noch abwandelbar bis zu unendlichen Werthen. Wird das Rad unendlich gross, so geht es in eine Zahnstange

*) Man vergleiche hier nochmals die Theorie vom Kraftschluss, §. 32.

über; wird die Klinke unendlich lang gesetzt, so geht sie in einen prismatischen Stab in prismatischer Führung über; man nennt diesen Stab dann „Riegel". Derselbe kann bei endlicher Radgrösse, wie unter a, Fig. 499 gezeigt ist, oder auch bei unendlicher Radgrösse, d. i. beim Sperrstab, s. unter b, angewandt werden.

Fig. 499
Sperrung durch Riegel

Was bis hierhin von den Formabwandlungen von Rad und Klinke gesagt wurde, ist nun noch auszudehnen auf die beiden andern Achsenlagen, die bei den Zahnrädern zu den Winkel- oder Kegelrädern und den Hyperbelrädern führen. Beide Achsenlagen, die winklige und die geschränkte, kommen in den Gesperren vor, namentlich die geschränkte Lage*). Ja auch der Sonderfall der parallelen Achsen, bei dem letztere geometrisch zusammenfallen, jener Fall, der bei den Zahnrädern zur Zahnkupplung führt, ist keineswegs unvertreten geblieben**).

b) *Ruhende Zahngesperre*

Einen ebenso grossen Formenreichthum wie die laufenden, haben die ruhenden Gesperre; zudem lassen sich die Grundbedingungen der Schartensperrung auf so mancherlei, scheinbar verschiedenen Wegen erfüllen, dass das Erkennen des einfachen Grundgedankens manchmal keineswegs leicht ist oder vielmehr war; denn der einmal erkannte Weg ist leicht wiederzufinden.

Damit die Scharten des Sperrades auch bei grösster Glätte sicher wirken, hat man todte Verzahnung sowohl bei 2, als bei 2', Fig. 500, anzuwenden, kann dabei auch das günstigste Kräfteverhältniss wählen, indem man die Eingriffstelle in den Kreis

*) Siehe Konstrukteur IV. Aufl. S. 614.

**) Ein Beispiel findet sich ausführlich besprochen in der Revue industrielle 1893, S. 105.

über 1.3 legt. Nöthig ist dies aber nicht, wie Fig. 501 zeigt. Hier ist die todte Verzahnungslinie über 1.3 hinaus fortgesetzt,

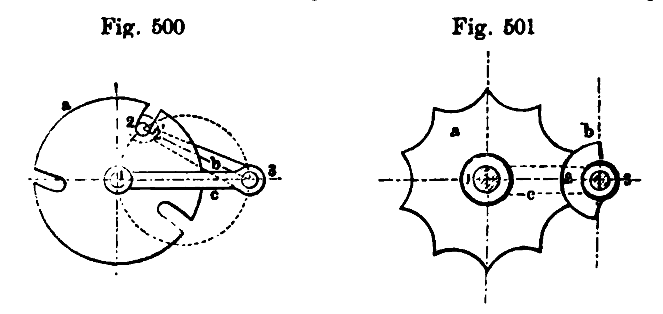


Fig. 500 Fig. 501

wodurch die zweite Sperrung auf die andere Seite von 1.3 verlegt ist (vergl. Fig. 492), in der Thomas'schen Rechenmaschine so gebraucht*).

Fig. 502 zeigt fünf Abwandlungen dieser Form, so eingerichtet, dass die Lücke des Sperrers weiter bewegt werden muss, wenn das Rad fortschreiten soll, worauf es aber dann sofort wieder ruhend gesperrt ist. In der Form unter c ist die Lücke noch so ausgestaltet, dass sie noch eine zweite Sperrung, allerdings nur eine laufende, bewirkt. Vollständig ausgebildet aber ist diese zweite Sperrung in den beiden folgenden Formen, Fig. 503**) (a. f. S.).

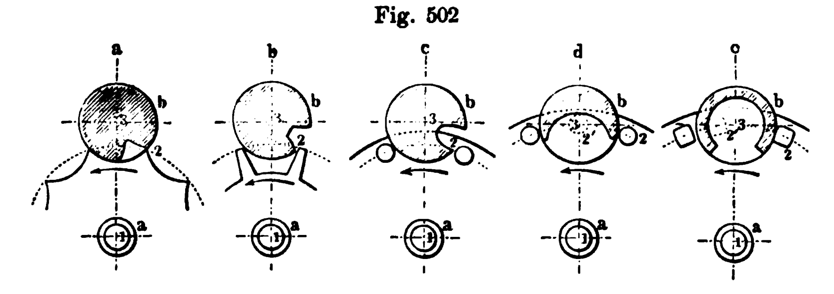


Fig. 502

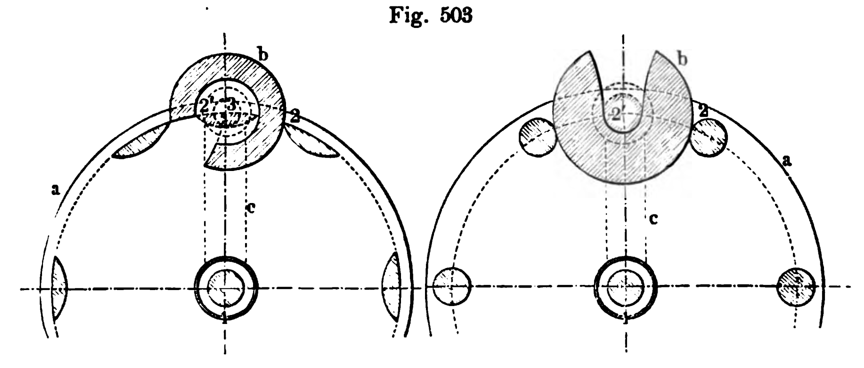
Bei den höheren Achsenstellungen lässt sich das Schartengesperre noch in mancherlei recht brauchbare Formen bringen, von denen Fig. 504 (a. f. S.) zwei Beispiele gibt. Bei demjenigen

*) Siehe Reuleaux, die sogen. Thomas'sche Rechenmaschine, II. Aufl., Leipzig 1892.

**) Ueber diese und andere s. Konstrukteur, IV. Aufl., S. 642 ff.

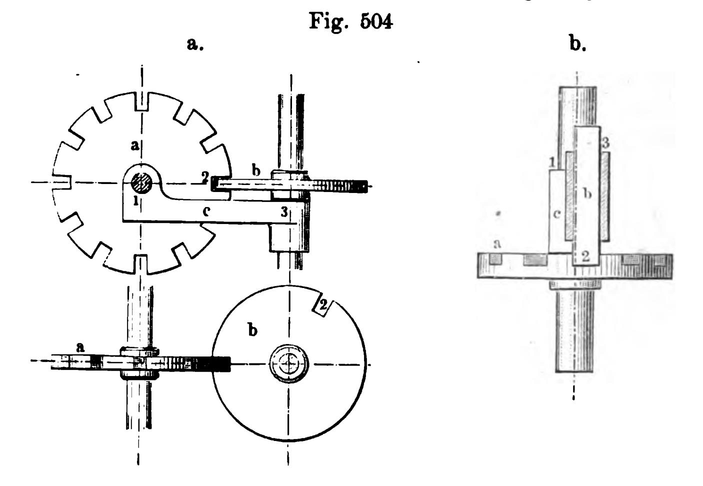
unter b ist der Sperrer in einen Riegel übergeführt. Wie man sieht,

Fig. 503



herrscht wieder eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit in den

Fig. 504



Formen, während doch stets dieselben, eigentlich einfachen Bewegungsaufgaben vorliegen.

c) *Theilgesperre*

Soll ein Zahngesperre nach Durchlaufung von Winkeln sperren, die kleiner sind, als der Theilungswinkel, so kann dies verwirklicht werden durch Anbringung von zwei oder mehr Klinken, die um Bruchtheile einer Theilung versetzt sind, weshalb ich solche Gesperre „Theilgesperre" genannt habe*). Sie sind ebenfalls

*) Die vorfindliche Bezeichnung „Differentialgesperre" ist, weil zu hochtönend, nicht empfehlenswerth.

sehr formenreich; auch sie sind vielfach unerkannt geblieben. Fig. 505 zeigt ein bekanntes dreiklinkiges Theilgesperre, und zwar Drittelsgesperre, seine Klinken sind um $^{4}/_{3}$ Theilungen nacheinander versetzt, so dass es das Rad nach

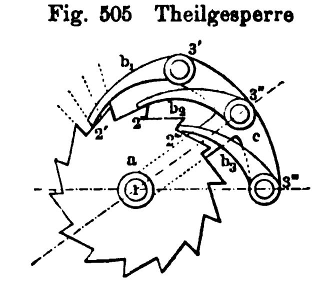
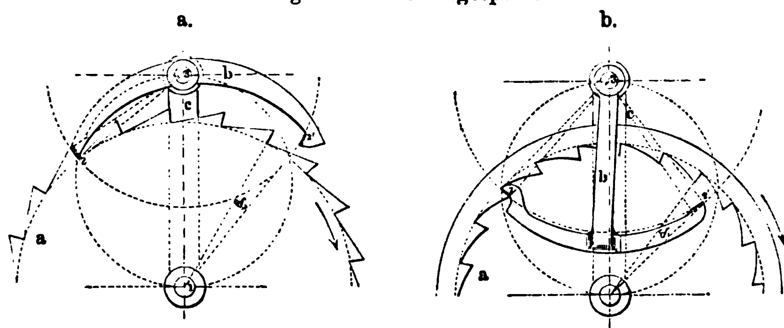


Fig. 505 Theilgesperre

$^{1}/_{3}$, $^{2}/_{3}$, 1, $^{4}/_{3}$, $^{5}/_{3}$ usw. Theilungen sperren kann. Oft bei Sägegattern angewandt, um trotz grober Zackentheilung einen feinen Vorschub zu erzielen, auch bei Ratschhebeln und verwandten Werkzeugen*). Bei Zweitelsgesperren lassen sich die beiden Sperrklinken zu einem einzigen Stück vereinigen wie Fig. 506 in zwei Ausführungsarten zeigt, a bei äusserer, b bei innerer Verzahnung. Dreht man das Rad vorwärts, d. h. entgegen der durch den Pfeil angedeuteten Bewegung, so „heben“ dessen Zähne abwechselnd die Zug- und die Druckklinke aus. Der Form der Zwiselklinke wegen kann man dieses Gesperre ein Ankergesperre nennen.

Fig. 506 Zweitelsgesperre



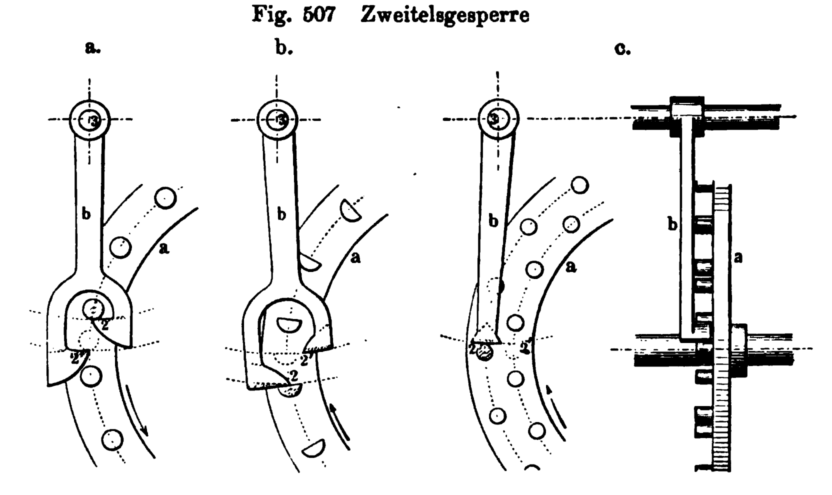
Dass aber diese Benennung nur etwas Aeusserliches trifft, zeigen die drei folgenden Formen des Zweitelsgesperres mit Zwiselklinke. Diese besteht in Fig. 507 (a. f. S.) bei a aus zwei Zugklinken oder Sperrhaken, bei b aus zwei Druckklinken, bei c aus zwei völlig verschmolzenen Druckklinken, die auf zwei nebeneinander geordnete Zahnringe wirken. Man erkennt leicht die Möglichkeit, noch andere Formen zu bilden.

**) Siehe Konstrukteur IV. Aufl. S. 616.

d) Genauigkeits-Zahngesperre

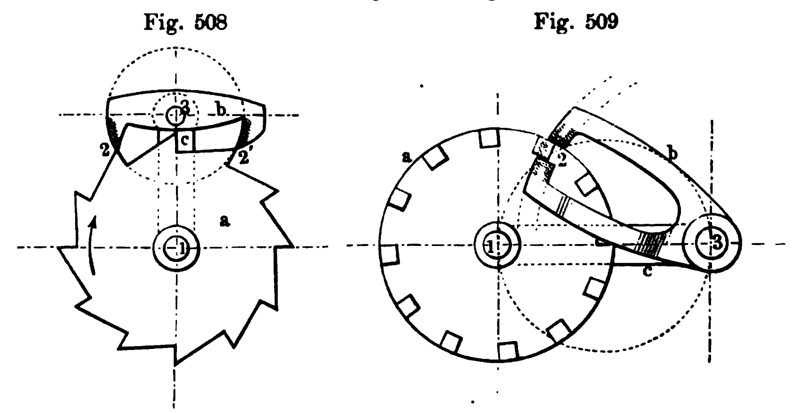
Denkt man sich das Ankergesperre Fig. 506 a so eingerichtet, dass die beiden Stücke der Theilung ungleich lang ausfallen, so bleibt das Grundsätzliche erhalten; dieses letztere aber kommt zu einer Grenze, wenn man den einen Abschnitt der Theilung

Fig. 507 Zweitelsgesperre



Null werden lässt und ausserdem die Sperrspitzen der Zwiselklinke so anordnet, dass sie gleichzeitig im äussern Radumfang,

Fig. 508 Fig. 509



oder um ein haarfeines Mafs ausserhalb desselben liegen, wie Fig. 508 anzudeuten bestimmt ist. Dann bewirkt gerade in dieser Lage die Zwiselklinke keine Sperrung; wohl aber bewirkt sie

eine solche, wenn sie nur ein klein wenig, sei es linksum, sei es rechtsum, aus ihrer Lage um 3 gedreht wird. Soll also die Zwiselklinke das Rad *a* nicht sperren, so muss sie mit äusserster Genauigkeit in die, das Rad unberührt lassende Lage gebracht werden. Man nennt deshalb ein derartiges Zwiselgesperre ein Präzisions-, d. i. Genauigkeitsgesperre. Dasjenige in Fig. 508 ist ein laufendes Genauigkeits-, man könnte auch vielleicht*) sagen Haargesperre. Fig. 509 zeigt die Anwendung desselben Hauptgedankens auf das Schartengesperre, dessen Rad ein sog. Schildrad ist**), dessen Zähne nämlich statt in radialer Richtung, in der Achsenrichtung aus dem Radkörper vortreten. Die feinen Abstände der Sperrflächen von den Zahnflanken sind hier etwas gröber dargestellt, als vorhin.

Fig. 510 Allgemeines Schartengesperre

Diese Haargesperre oder Genauigkeitsgesperre sind sehr viel, ja ausserordentlich viel im Gebrauch bei den feinen Thür- und Schrankschlössern. Sie geben uns hier aber noch Anlass zu einer theoretischen Betrachtung. Offenbar könnte man in dem letzten Gesperre die Klinke oder den Sperrer auch radförmig gestalten, wie sich schon bei Fig. 504 a deutlich zeigte. Führen wir diesen Gedanken durch, so kommen wir zu dem Gesperre, das Fig. 510 darstellt; zwei, hier ganz gleichgebaute Schildräder mit Scharten-

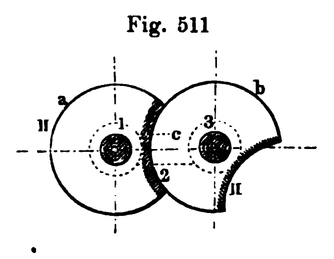
---

*) In Anlehnung an die gebräuchlichen Namen Haarmikrometer und Haarzirkel.

**) Siehe Konstrukteur IV. Aufl. S. 536.

verzahnung. Hier kann nun das „Rad" *b* das Rad *a* sperren, aber auch, nachdem man jedes der Räder um eine halbe Theilung versetzt hat, *a* das Rad *b* *). Fassen wir das recht allgemein ins Auge, so sehen wir, dass uns die vorliegende Betrachtung zu unsrem Ausgangspunkt zurückgeführt hat (S. 556), wo wir den Satz vorfanden, dass die Gesperre Abarten der Räder seien. Wir gestalten allermeistens den Sperrer ganz anders, als das Rad, dürfen aber im Grunde nicht vergessen, dass er ein Bruchstück, ein Ausschnitt, ein Rest eines Rades ist.

Fig. 511



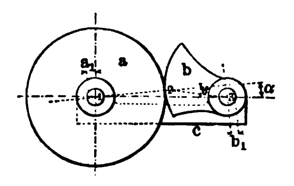
Es erklärt sich hieraus ganz einfach, warum in einzelnen Fällen, wie z. B. bei dem in Fig. 511 dargestellten Beispiele eines ruhenden Gesperres die beiden Stücke *a* und *b* gänzlich ununterscheidbar in der Form sind.

§. 88

Reibungsgesperre

Die Reibungsgesperre oder, wie man auch wohl sagen darf, Reibgesperre sind nicht sowohl aus den Reibrädern, als aus den Zahngesperren unmittelbar ableitbar, wenn man diesen eine ungemessen feine Zähnelung zuschreibt, worauf denn zwischen Sperrstück und Sperrklinke ein Druck von solcher Grösse herbeizuführen ist, dass die Reibung die gegenseitige Bewegung hindert. Zur dauernden Erhaltung der Rad- und Sperrflächen sind deshalb die in Fig. 491 und 516 angegebenen Backen erforderlich, die den Flächendruck auf ein geeignetes Maſs herabsetzen. Lässt man sie weg, so erhält man die sog. Daumengesperre, s. ein Beispiel in Fig. 512, die man aus den Reibrädern abgeleitet ansehen könnte, die sich aber nur für kleine Kräfte eignen, da sie bei grösseren an den Griffstellen missförmig werden wegen zu grossen Flächendrucks.

Fig. 512 Daumengesperre



*) Treffliches Modell im kinematischen Kabinet der Techn. Hochschule zu Berlin.

Bei dem laufenden Backen-Reibgesperre aus Fig. 526 muss der Winkel zwischen der Klinkenebene 4.1 und der Stegebene 1.3 immerhin recht klein gehalten werden*), damit die Sperrung selbstthätig erfolgt; diese Kleinheit hat aber wieder zur Folge, dass wegen der Drückungen und Dehnungen die Klinke 3.4 in Gefahr geräth, durchzuschlagen. Um dies zu verhüten, muss das Ganze sehr stark, möglichst der Starrheit sich näherend, gebaut werden. Dass dies beträchtliche Abmessungen erheischt, begreift sich, wenn man bedenkt, dass die Backe der Reibungserzeugung wegen mit dem 10- bis 12fachen der Sperrkraft angepresst werden muss. So besitzt denn das laufende Backengesperre eine weit geringere Verwendbarkeit, als das laufende Zahngesperre.

Anders das ruhende, d. i. nach beiden Laufrichtungen gleich wirksame Backengesperre, dessen einfachste Grundform Fig. 491 b angab. Hier tritt der Vortheil ein, dass mit verschiedenartigen Mechanismen die Aufgabe des Andrückens vorgesehen und den Verhältnissen angepasst werden kann. Dazu gesellt sich noch ein zweiter wichtiger Vortheil, derjenige, dass vor Erreichung des vollen, die Sperrung bewirkenden Druckes die Reibung schon verzögernd auf das Sperrad wirkt, wenn dieses läuft, oder beschleunigend, wenn das Rad ruhte, während der Sperrer im Lauf war. Diese Einwirkung der zum Sperren bestimmten Reibung nennt man „Bremsung“, die allmählich einwirkende Reibungswirkung die Bremswirkung. Gerade vermöge seiner Benutzbarkeit zum „Bremsen“ findet das ruhende Reibgesperre zahlreiche und ausserordentlich nützliche Verwendungen.

Nachdem wir so einen Ueberblick über die Zahn- und Reibungsgesperre gewonnen haben, gehen wir zu Beispielen aus der Reihe der in §. 86 aufgezählten Gattungen der Sperrtriebe über.

§. 89

Sperrtriebe

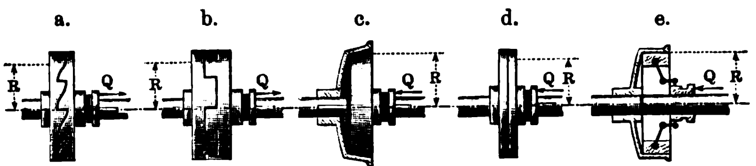
Die laufenden Zahnsperrwerke an Winden, Kranen, überhaupt Aufzugmaschinen, sodann an allerhand Spann- und Streckvorrichtungen usw. sind zwar ganz vollständige Zahngesperre, aber sind zugleich so unscheinbar, das sich daraus erklärt, warum man sie, wie S. 557 erwähnt wurde, übersehen konnte und das

*) Ausführliche Berechnung gibt Konstrukteur IV. Aufl. S. 631 ff.

an ihnen Grundsätzliche unerörtert liess. Eine ganze Schaar von Sperrwerken haben wir sodann in den „ausrückbaren Wellen-



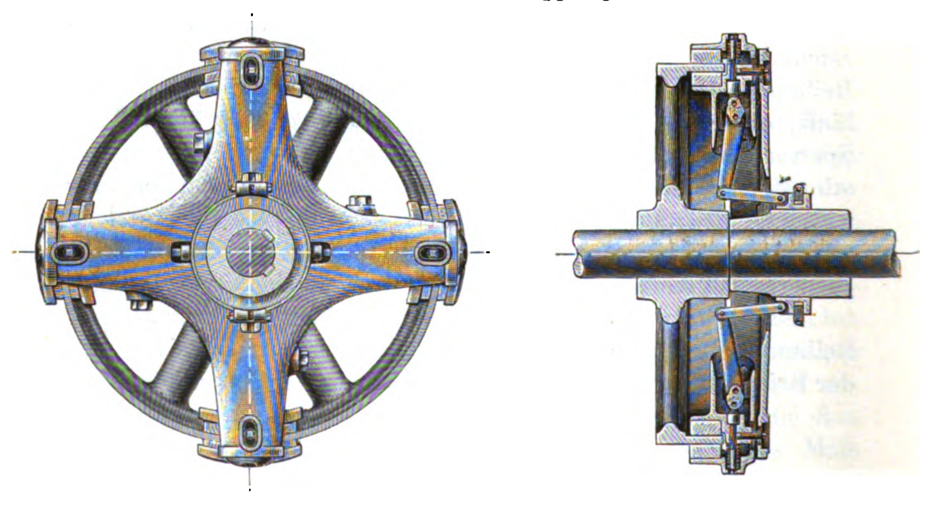
Fig. 513 Reibungskupplungen



kupplungen“ vor uns. Sie dienen dazu, konaxiale Triebwellen in und ausser drehfeste Verbindung zu setzen. Fig. 513 stellt einige vielgebrauchte dar.

a laufendes Sperrwerk mit Zackenverzahnung, b ruhendes mit Schartenverzahnung, c sog. Kegel-Reibungskupplung, ruhendes Reibungsgesperre, wobei Sperrer und Sperrstück konaxial sind,

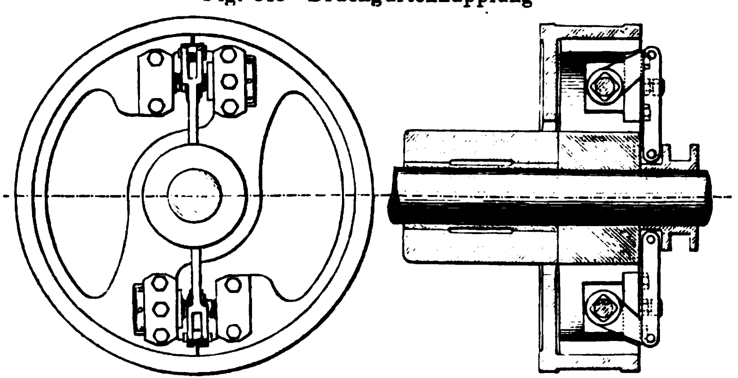
Fig. 514 Reifenkupplung



d Plankegelkupplung, e Cylinder-, und zwar Hohlcylinder-Reibungskupplung mit (vier) Backen, die durch Kniehebel angepresst werden. Die Reibungskupplungen sind wegen ihres stossfreien Einsetzens allmählich ausserordentlich in Aufnahme gekommen, nachdem man sie gross genug gebaut und dann auch gelernt hatte, dass der Schliessungsdruck nicht, wie früher geglaubt wurde, nothwendig auf den Wellenstrang in dessen Längsrichtung

kommen müsse. Die Mannigfaltigkeit der Formen ist sehr gross*). Sperrung mit vollen Körpern, mit Backen, mit Gurten, äusserer Eingriff, innerer Eingriff, mehrfacher Eingriff usw., alles hat man mit Erfolg angewandt. Eine ziemlich neue Form ist die der Reifenkupplung, wie man sie nennen kann, bei der nämlich ein cylindrischer Reifen zugleich von aussen und von innen gepresst wird. Unsere Fig. 514 stellt die Form dar, die das Eisenwerk Wülfel vor Hannover anwendet**); die Dodge Manufacturing Company stellte 1893 in Chicago ihre Ausführungsart aus, die in


Fig. 515 Druckgurtenkupplung



den Vereinigten Staaten viel angewandt ist. Der Gedanke, mit Reibung an einem cylindrischen Reifen Sperrung hervorzurufen, war an sich nicht neu, vergl. z. B. Goodeves El. of Mechanism 1860, S. 49; aber diese älteren Vorrichtungen dienten nur in Schaltwerken, nicht als Wellenverbindungen. Eine andere Reibungskupplung neuerer Entstehung stellt Fig. 515 dar***). Hier sind zwei halbe Druckgurten, die wimpelartig aus steifen Armen heraustreten, als Sperrer benutzt; Andrückung und Lösung mittelst Zwiselschrauben.

Eine andere, lange Reihe von Sperrwerken bilden die Vorrichtungen an Befestigungsschrauben, die das unbeabsichtigte Lösen derselben verhindern sollen, nach des Verfassers Vorschlage „Schraubensicherungen" genannt. Die älteste derselben, die

*) Vergl. Konstrukteur IV. Aufl. S. 393 ff. und S. 864, wo eine grössere Reihe von Reibungskupplungen behandelt sind, auch Weisbachs Ingenieur VII. Aufl. S. 703 ff.

**) Katalog von 1898.

***) Nach Neuyorker Engineering-Mechanics, März 1899, S. 43.

Sicherung mit Gegenmutter*) ist ein Reibungsgesperre. Ein ebensolches mit sehr verschärfter Reibung ist in der Penn'schen Sicherung, Fig. 516 a, die im Dampfmaschinenbau sehr verbreitet ist, zu erblicken. Ein Reibungsgesperre ist auch die sog. Rüttel-

Fig. 516

a. Penn'sche Sicherung b. Rüttelsicherung

sicherung, Fig. 516 b**). Denn bei näherem Zusehen ist der kleine Ausschnitt 3.2 als die Klinke *b* aus Fig. 512 bei Hohlrad-Eingriff zu erkennen. Die meisten übrigen Schraubensicherungen sind ruhende Sperrwerke, und zwar zumeist aus Theilgesperre gebildet, um kleine Verstellungswinkel zu erhalten. Ohne dass dies erkannt gewesen wäre, hat die Erfindung eine ganze Musterkarte von Abwandlungen des ruhenden Theil-Gesperres gebildet. Figur 517, Maudslays Sicherung; zwei eng benachbarte Schraubenmuttern, die als Sperrstücke sechszähnige Räder vorstellen, sind durch den „Legeschlüssel", der der Sperrer aus dem Krongesperre, Fig. 504 b,

Fig. 517

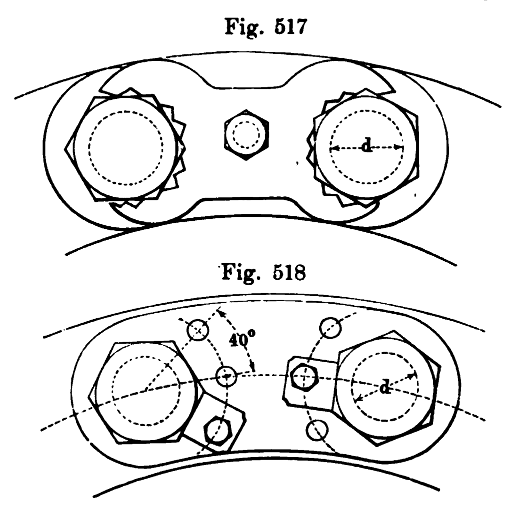


Fig. 518

*) Warum wird sie so oft noch barbarisch „Contre"-Mutter genannt?

**) Von der Vibration proof nut Company in Neuyork geliefert, siehe Am. Maschinist 1895, S. 591. Dieselbe Fabrik hat neunerdings das Rüttelgesperre mit Glück zu einem stummen Ratschhebel ausgebildet, s. Am. Maschinist 1899, Mai 25.

ist und einem 18zähnigen Hohlrad entspricht, gesperrt. Fig. 518, andere Maudslay'sche Sicherung; ihre um 40° auseinander setzbaren Sperrklötzchen gestatten Sperrung nach Drehungen von 60 — 40 = 20°*).

§. 90

Spannwerke

Die Sperrkraft im Spannwerk, das wir in §. 85 begrifflich begrenzt haben, kann insbesondere die Spannkraft genannt werden. In ihr ist Arbeitsvermögen aufgehäuft, das in einem gegebenen Augenblick schnell abgegeben werden soll, ganz oder theilweis; sie wird durch Gewichte, Federn, Fludpressung usw. ausgeübt. Wo ein Spannwerk, das irgendwie gespannt worden sein mag, durch Menschenhand auszulösen ist, genügt als Hülfsmittel meist ein griffartiger Fortsatz der Sperrklinke, der Drücker; wo aber die Auslösung in regelmässigen Wiederholungen selbstthätig zu geschehen hat, sind dem Drücker besondere Auslöser hinzuzufügen.

Beispiele von Spannwerken lieferten schon die Schleudergeschütze der Alten zur alexandrinischen Zeit, noch zahlreichere diejenigen der Römer, die aber den griechischen und ptolemäischen völlig nachgebildet waren**). Diese Geschütze waren sämmtlich

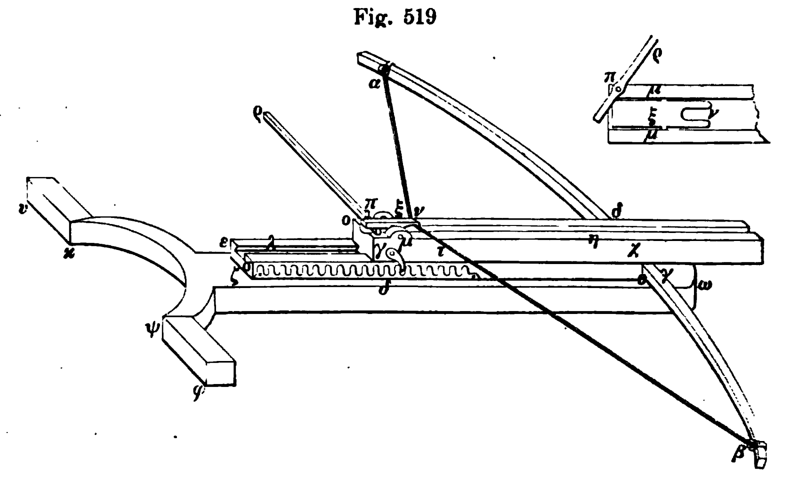
---

*) Andere Beispiele s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 219 ff., auch Weisbachs Ingenieur VII. Aufl. S. 774.

**) Man darf sich das Geschützwesen der Alten nicht zu klein vorstellen. Scipio fand bei der Einnahme von Neukarthago 210 v. Chr. 476 Stück schweres Geschütz, Stein- und Pfeilwerfer, ausserdem grosse und kleine Standbogen (*Scorpiones*) in ungeheurer Menge vor; 148 v. Chr. lieferten die Karthager den Römern abermals 3000 Geschütze aus. Die Juden benutzten bei der Vertheidigung Jerusalems gegen Titus 70 n. Chr. 300 Pfeilgeschütze und 40 Steinwerfer; kurz vorher hatte Vespasian zur Belagerung der Stadt Jatapapa 160, ohne Zweifel schwere Geschütze aufgestellt. (Vergl. Rüstow & Köchly, Griech. Kriegsschriftsteller, Bd. I, Leipzig 1853, und deren Geschichte des griech. Kriegswesens, Aarau 1862.) Als Cäsar die steilhohe gallische Stadt Uxellodunum eingeschlossen hatte und ausfand, dass die Belagerten aus einer starken Quelle am Felsenhang noch immer Wasser holten, erbaute er gegenüber, unter grossen Schwierigkeiten, einen 60′ hohen Damm und darauf einen zehnstöckigen Thurm, der nun die Quelle überhöhte und von dem aus er den Zugang zu derselben mit schwerem Geschütz bestrich; dies zwang die Belagerten zur Uebergabe (Gall. Krieg VIII, 41, 42). Ueber Verwendung der Geschütze berichtet auch Ammianus Marcellinus (Röm. Geschichte 23, 4); und beschreibt u. a. die Brandpfeile, die aus leichter gespannten Pfeilgeschützen

Spannwerke, und zwar recht ausgebildeter Art. Genaue Beschreibungen sind uns glücklicherweise erhalten in Herons „Lehre vom Geschützbau“ und Philons Buch „Vom Geschützbau“ aus dem dritten Jahrh. v. Chr., trefflich übersetzt von Rüstow & Köchly. Diese Geschütze waren dem Wesen nach Vergrösserungen und Weiterbildungen der Armbrust, die ihrerseits ein, aus dem Flitzbogen entwickeltes Spannwerk ist. Um wenigstens ein Beispiel anzuführen, ist in Fig. 519 die Zeichnung, die der griechische

Fig. 519



Ingenieur Heron von dem „Bauchspanner“ gibt, in $^3/_4$ ihrer Grösse wiedergegeben. Drei Gesperre, zwei laufende und ein ruhendes, sind vereinigt. Eines, das den sog. Läufer mit der Pfeilkehle gegen sein Führungsstück, die sog. Pfeife $\varepsilon\zeta\theta$, sperrt, bestehend aus zwei Zahnstangen δ nebst Sperrklinken γ. Ein zweites fasst mit der Zugklinke $\xi\nu$ die Bogensehne $\alpha\beta$. Ein drittes, ruhendes, ist gebildet von dem Arm $\pi\varrho$, genannt Abzug, und dem Fortsatz der Sperrklinke, dem Drücker (geschränkte Achsen). Der Drücker ist in Philons Hauptfigur in gesperrter Lage gezeichnet, in der Nebenfigur so ziemlich der Lage der Auslösung. Die wegen Raumlassung für den Pfeil gegabelte Sperrklinke lässt, wenn vom Abzug freigegeben, die Sehne los;

gegen die feindlichen Holzbauten geschleudert wurden. — Unser Mittelalter hat seine Artillerie wesentlich von den Römern geerbt; die Wörter „Kaliber“ = *qua libra*? „von welchem Gewicht?“ und „Armbrust“ = *arcuballista* geben u. a. redendes Zeugniss dafür.

wenn nicht, so genügt ein leichter Schlag auf den Drücker, die Lösung zu bewirken.

Gespannt wird das Geschütz, indem der Bedienende nach Hebung der Klinken γ den Läufer zuerst soweit hinausschiebt, dass die mittlere Sperrklinke die Sehne fasst und sogleich mittelst des Abzugs gesperrt wird, dann das vordere Ende des Läufers gegen den Boden stemmt und sich darauf mit dem Bauch in die Ausbuchtung des Spannholzes wirft, um mit der ganzen Körperwucht das Spannholz nach vorne zu drängen (kinematische Paarumkehrung!), worauf die Klinken γ den Läufer wieder sperren. Bei grösseren Ausführungen*) wird der an die Sehne angehakte Läufer mittelst eines dreizügigen Klobenzuges (Fig. 274 c) mit Wellbaum und Handspeichen herangeholt; diese Winde finden wir bei den mittelalterischen Armbrüsten in eine eng gedrängte eiserne Handwinde übergegangen.

Bei andern „Katapelten" (nach dem Griechischen) oder „Katapulten" (nach dem Lateinischen) wurden statt der stählernen Bogenhörner zwei steife gerade Arme angewandt, die durch gewrungene „Spannnerven"**) aus Sehnen und häufig Menschenhaar, elastisch und kraftvoll in die ausgeschwungene Lage geführt wurden***). Bei den „Ballisten" ist nur ein einziger solcher Arm, der in senkrechter Ebene schwingt, angewandt.

Die reichste Auswahl von Beispielen, die demselben Gebiet angehören, geben, vom Mittelalter herauf bis zur neuesten Zeit, die Gewehrschlösser und andern Abfeuerungsvorrichtungen, in welchen ein Spannwerk dazu dient, einen Hammer (den Hahn) oder einen Stempel (den Schlagbolzen) zu schleudern.

Hier ist zu bemerken, dass die Erfindung des Schiesspulvers an die Stelle des mechanischen Spannwerkes, das das Geschoss zu schleudern bestimmt war, ein „chemisches Spannwerk" setzte,

---

*) Manchmal wurde das beschriebene Geschütz schon recht gross ausgeführt. So hatte ein in Milet durch den Tarentiner Zopyros gebauter „Bauchspanner" 9′ Bogenlänge, sein Läufer 7′ Länge und 1′ Breite und schoss zugleich zwei Pfeile von 6′ Länge und 6″ Dicke. Der Bogen hatte an jedem Ende ein Haltetau, das auf einen für beide Taue gemeinsamen Haspel aufgelegt wurde, mittelst dessen dann der Bogen gespannt ward. Die Sehne legte man darauf von Hand in die Sehnenklinke am Schloss ein

**) Dargestellt in Band I, S. 170.

***) Napoleon III. liess auf Grund der Philon'schen Beschreibung Katapelte bauen; eine von ihm geschenkte Ausführung im römisch-germanischen Museum in Mainz.

ein Gemenge von Bestandtheilen, deren plötzlicher chemischer Zerfall bei gewaltiger Kraftäusserung durch chemische Auslösung mechanisch herbeigeführt werden kann. Früh gelangte man dazu, ein leichter auslösbares, ebenfalls chemisches Spannwerk in Form des Zündpulvers über das schwerer auslösbare Hauptspannwerk zu setzen. Dadurch entstand ein chemisches Spannwerk zweiter Ordnung. Die Lunte (eine Haltung für Glut) noch heute nicht völlig ausser Gebrauch gekommen, wurde dann später ersetzt durch das Feuersteinschloss als drittes Spannwerk, das Zündpulver dann allmählich durch das Zündhütchen, neuerdings die Zündpille, in welchen beiden das Knallquecksilber als kräftiges Spannwerk Anwendung findet. Unser gewöhnliches Schiessgewehr ist demnach als Geschosswerfer ein Spannwerk dritter Ordnung.

Für Scheibenbüchsen hat man noch ein viertes Spannwerk in dem sog. Stecher hinzugefügt, einem mechanischen Spannwerk, das durch hammerartigen Schlag den schwerer abzuziehenden Drücker des Schlosses in lösende Bewegung setzt; bei den mittelalterischen Armbrüsten für feines Zielschiessen war der Stecher schon lange vorher im Gebrauch. Der Scheibenstutzen mit Stecher ist ein Spannwerk vierter Ordnung.

Die Kriegsbedürfnisse haben in unserer Zeit nicht nur dazu geführt, die Schiesspulver hoch auszubilden, sondern auch das Zünd- und das Treibspannwerk in der „Einheitspatrone" eng mit dem Geschoss zu vereinigen, dann aber auch, nachdem bei der Drehpistole ein Schaltwerk mit so grossem Erfolge das schnelle Feuern eingeführt hatte, das Laden kinematisch zu bewirken. Es entstand der „Mehrlader", wie unsre Heeresverwaltung glücklich statt „Repetirgewehr" sagt*). Aber nicht genug. Den Mehrlader hatte man so weit gebracht, dass beim Spannen des mechanischen Schlagwerkes schon die verbrauchte Patrone ausgeworfen und die neue aus dem Vorrath eingeführt wurde. Die

*) Bekannt ist dem Fachmann nicht nur, dass sich im Tower in London ein Revolver aus dem 15ten Jahrhundert befindet, sondern auch wichtig, dass die Alten schon dem Mehrlader zu Philons Zeiten nahe getreten waren, und zwar in der „Schnellkatapelte" des Dionysios von Alexandrien; ihr werden die, eine Elle langen Pfeile durch einen Trichter zugeführt; siehe bei Philon, IV. Buch in der angeführten Uebersetzung. Solche Mehrlader in Armbrustform führen die Chinesen bis heute, wie sich beim japanisch-chinesischen Kriege herausgestellt hat; der keilförmige Trichter des Waffenstücks birgt 10 dünne Pfeile von etwa 20 cm Länge.

Maschineningenieure aber, die überhaupt den Gewehr- und Geschützbau in die Hand genommen haben, giengen weiter. Sie übertrugen die Arbeit des Spannens, das schon die zwei andern Thätigkeiten in sich schloss, nun auch noch dem chemischen Hauptspannwerk, d. h. man fügte zum „Wiederladen" noch das „Wiederspannen" hinzu. Dieses Wiederspannen hatte man bei den mehrladerigen Feld- und Seegeschützen durch den Kanonier besorgen lassen, der ein Radwerk mit Handkurbel umzutreiben hat (Mitrailleuse, Maschinengeschütz überhaupt); dies wurde nun bei gewissen Feuerwaffen auch noch unnöthig gemacht, indem man das Hauptspannwerk so einrichtete, dass es auch die Auslösung des obersten Gesperres, die Drückerbewegung ausführt. Maxims mechanisches Gewehr war das erste dieser ausgebildeten Gattung; es ist nicht nur Mehr- und Wiederlader, sondern auch Wieder-Abzieher, „Wiederschiesser" kann man es nennen und arbeitet in regelmässigem, reissend schnellem Spiel so lange als der Patronenvorrath reicht, oder bis der, von Hand niedergehaltene Drücker wieder losgelassen wird. Für mittelgrosse „Kleinkaliber" ist dieses Geschütz jetzt auch an Bord eingeführt.



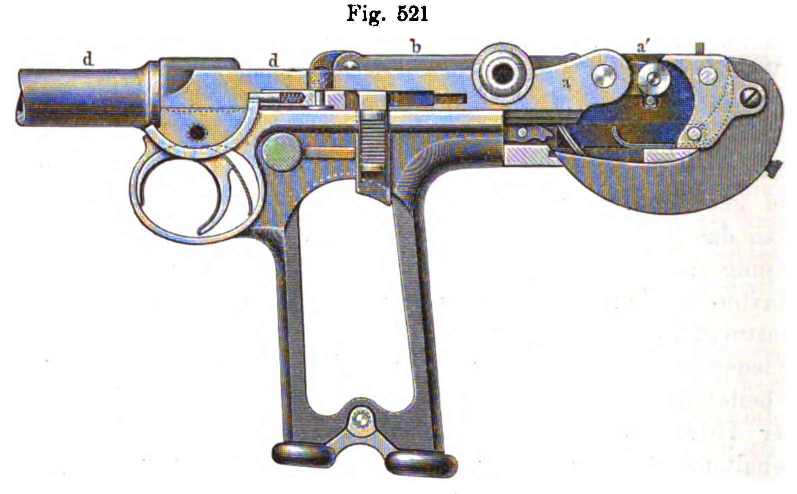
Fig. 520 Borchardts Faustfeuerwaffe



Der jüngste Fortschritt in der von Maxim eingeschlagenen Richtung ist bei uns gemacht worden durch Ingenieur Borchardt, der das selbstthätige Wiederladen, Wiederspannen und allfällige Wiederschiessen auf eine vorzügliche Faustfeuerwaffe, genannt automatische Repetirpistole, vereinigt hat. Das Haus Ludw. Löwe & Cie hat die von ihr mit bekannter Meisterschaft nach dem Verfahren des Austauschbaues hergestellte Waffe in die Praxis eingeführt; die Waffe kann auf blosses Wiederladen und Wiederspannen, aber bei gewissen Beigaben auch auf Wiederschiessen

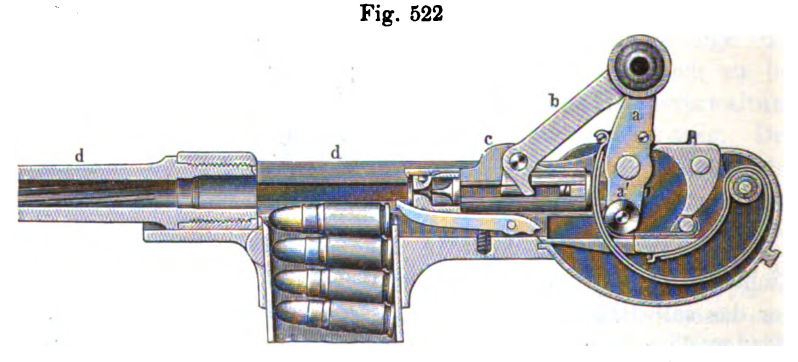
eingestellt werden*). Fig. 520 (a. v. S.) stellt die Pistole ohne die letztgenannten Beigaben dar. Der Griff birgt das federbodige Magazin für acht Patronen und dient mit dem Schwanzstück zusammen

Fig. 521



als Laffette für Rohr und Verschlusstheile. Letztere bilden mit dem Lauf einen Schubkurbeltrieb $(C_3'' P^{\perp})_a^d$, in welchem der Verschlusskolben der Schieber *c* ist (s. §. 60); in *c* liegt der Schlagbolzen mit seinem Spannwerk. Beim Schuss treibt der Pulvergasdruck den „Steg“ *d* rückwärts und mit dem Fortsatz *a'* der

Fig. 522



„Kurbel“ *a* gegen die in Fig. 521 deutlich erkennbare Leitkurve, zwingt *a*, eine starke Viertelsdrehung zu machen, s. Fig. 522, und

*) Die Waffe wird jetzt, nach Anbringung von militärisch erwünschten Vervollkommnungen als „Borchardt-Lueger'sche Pistole“ von den Deutschen Waffen- und Munitionsfabriken in Berlin gefertigt.

dadurch mittelst Koppel *b* den Verschlussschieber *c* zurückzuziehen. Die dadurch in Spannung gerathene Feder im Schwanzstück prellt *a* sofort wieder in seine Todtlage und dabei die heraufgetretene Patrone in den Lauf. Beim Zurückziehen von *c* wurde die Schlagbolzenfeder gespannt und gesperrt. Alles dies geschieht in dem Fünfundzwanzigstel einer Sekunde.

Ueberblickt man von hier aus das Ganze der Gewehr- und Geschützentwicklung, so erkennt man, dass es sich in deren dritthalbtausendjährigem Verlauf stets um die Technik des Spannwerks gehandelt hat. In dessen Ausbildung war die Einführung des chemischen Spannwerks Schiesspulver ein so bedeutungsvoller Fortschritt, dass die Weltgeschichte von ihm weiss; unsrem Jahrhundert war es vorbehalten, alle Theile des Werkes noch ganz besonders auszubilden. Verbessert wurde allmählich die Führung des Geschosses, von unvollkommener Prismenführung bis zur Führung im höheren Schraubenpaar (s. S. 386). Danach gieng es an die Ausbildung des Geschosses, das man in seinen grösseren Ausführungen als chemisches Spannwerk, neuerdings bis zu dritter Ordnung, ausbildete. Das an Kraft zunehmende Spannwerk „Pulver“ drängte in unsrer Zeit dazu, die Festigkeit des Laufes zu steigern, eine Aufgabe, in deren Lösungsreihe wir an einer neuen Stufe zu stehen scheinen wegen der Drahtkanone, abgesehen von den, noch keineswegs zur Ruhe gekommenen Stahlverbesserungen. Die Anpassungen an den Gebrauch in Hand, Faust, Feld, Festung, Schiff sind zahl- und lehrreich und stets noch in der Weiterbildung begriffen. Der Grundgedanke des Spannwerkes ist aber der Hauptgedanke geblieben, der die Einzelheiten alle umfasst, von den Katapelten vor 2500 Jahren her bis zum Maschinengeschütz unsres Jahrhundertschlusses*).

Fernere Beispiele von Spannwerken liefern die Dampfmaschinen in zahlreichen Steuerungsmechanismen, namentlich denjenigen, zu deren Ausbildung die Corliss-Maschine das Signal gegeben

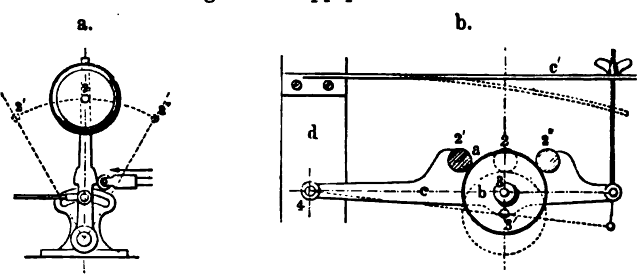
*) Die Dampfkanone von Perkins, die vor einem halben Jahrhundert das Pulvergeschütz absetzen zu sollen schien, war kein Spannwerk, sondern zog die Treibkraft für seine, in Massen geschleuderten Kugeln aus einer „Haltung“, dem Dampfkessel. Ebenso hat die Pressluftkanone, an der die Amerikaner arbeiten, um mit ihr das Schiesswollgeschoss angemessen schleudern zu können, Haltungsbetrieb. Diese Beispiele bestätigen übrigens, wie nothwendig es war, oben (§. 52) den Haltungsbegriff sorgfältig auszusondern.



hat, die aber von Sickles erfunden worden sind*). Bei den Spannwerksteuerungen werden durch die Spannwerklösung Dampfventile geschlossen. Dies soll bei verschiedenen Kolbenstellungen rasch, aber ohne Stoss geschehen, weshalb Buffer zu Hülfe genommen werden; auch soll die Lösung durch den „Regulator“, den Gangregler, eingeleitet werden, eine ansehnliche Bedingungsreihe. Je nach der Wahl der Spannkraft, der Gesperrgattung, des Drückers, des Auslösers, des Buffers unterscheiden sich die verschiedenen Bauarten**).

Die Verwendung der Spannwerke in Dampfmaschinen-Steuerungen ist übrigens, an sich genommen, schon sehr alt. Sie findet sich schon bei den alten Newcomen'schen Pumpmaschinen im zweiten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts und hat sich bis in die 20er Jahre unsres Jahrhunderts überhaupt weiter entwickelt, ja bei der kornischen Maschine bis heute erhalten und sehr gut ausgebildet. Nur dienten die betreffenden Vorrichtungen nicht dazu, Ventile zu „schliessen“, sondern solche zu „öffnen“ ***). Sie leiteten dadurch den Bewegungswechsel des Dampfkolbens ein, was bei den vorhin erwähnten Spannwerksteuerungen durch das Kurbelgetriebe geschieht.

Fig. 523 Kippspannwerke



Spannwerke, die den Bewegungswechsel einzuleiten haben, werden auch anderweitig angewandt, nicht selten in der Form des Kippgesperres (S. 564), z. B. wenn ein hin- und hergehender Maschinentheil am Schluss seines Hubes ein Wendegetriebe um-

*) F. E. Sickles in Providence, V. St., der 1842 sein erstes Patent auf den „*Trip cut off*“ erhielt.

**) Beispiele s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 646 ff. Mehrere Hundert solcher Spannwerksteuerungen sind bei uns zur Patentirung gelangt.

***) Siehe Weisbachs Ingenieur VII. Aufl. S. 777, und unten bei den Hemmungen.

steuern soll. Zwei Formen der hierbei gern benutzten Kippspannwerke stellt Fig. 523 dar. a ältere Form mit Wuchtblock, vergl. den Zimmermann'schen Riemenführer oben (Fig. 417), b eine viel benutzte mit Spannfeder, wobei die Kinke 2 durch einen Vorstoss bis zur Mittellage und ein klein wenig weiter geschoben wird, worauf die Spannfeder die schnelle Ueberführung nach 2″ oder 2′ bewirkt.

So zeigen sich denn die Sperrtriebe von der Gattung Spannwerk als überaus mannigfach anwendbar und nützlich. Aber auch schädliche Spannwerklösungen gibt es. Um eine solche handelt es sich z. B., wenn ein Dampfkessel springt. Die Haltung, aus der wir vorher Arbeitsvermögen in regelmässigem Betrieb entnahmen, wird hier zu einem Spannwerk von furchtbarer Gewalt, wenn ein Riss oder Bruch ihre plötzliche Entladung herbeiführt.

§. 91

Fangwerke

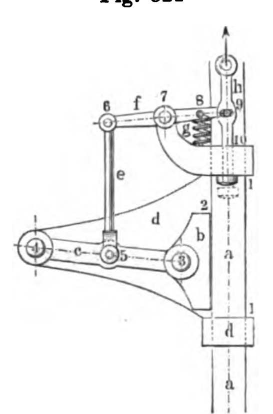
Das Fangwerk findet namentlich an zwei Stellen Verwendung: an den Aufzügen der Bergwerke, Wohngebäude und Magazine und an den Fahrzeugen der Eisenbahnen. Beidemal handelt es sich darum, bewegte Gebilde gegen ihre Leitung zur Ruhe zu bringen. Ihrem Zweck nach unterscheiden sich aber die beiden Anwendungen dadurch, dass die Aufzugsfangwerke wesentlich in gefährlichen Zuständen, nach Seilbruch oder dergl. zu dienen haben, während die Bahnzugfangwerke im regelmässigen Fahrdienst zur Verwendung gelangen.

Die Fangwerke der eigentlichen Bergwerksaufzüge sind aus derben Nothbehelfen hervorgegangen*); aber die aufeinanderfolgenden Formen, die sich eine aus der andern entwickelten, sind genau die der kinematischen Abwandlungen der Gesperre. Man hatte das gar nicht gesehen, wie schon oben, S. 557, bemerkt wurde; es konnte aber auf dem müh- und langsamen Erfahrungswege nichts Anderes als das Sperrwerk erzielt werden, weil die hier vorgetragenen Gesetze die wirklichen Gesetze des Zwang-

*) Wie der „Nothbehelf“ auf den frühen Kulturstufen die Grundlage für die kinematische Entwicklung gegeben hat, wurde im I. Bande, S. 227, schon allgemeiner gezeigt.

laufes, nicht etwas Aufgeheftetes, aus Meinungen Zusammengesetztes sind. Mit den denkbar derbsten Gesperren fängt es an, bei denen die Schachtzimmerung Zahnstange abgibt, auch ruhendes Gesperre durch vortretende prismatische Fangriegel gebildet wird. Dann kommt laufendes Gesperre, immer noch in die Schrothölzer eingreifend. Dann tritt Reibungsgesperre auf, das an die Führungs- oder Schachtlatten greift. Daumengesperre kommt zuerst. Ja, das soll aber grosse Reibung haben. Der „Koëffizient“ wird durch Zähnelung, scharfe Zackenverzahnung an Daumen, die schliesslich aus Stahl gemacht werden, auf die erwünschte Höhe gebracht, nebenbei bemerkt, ein deutliches Zeichen, wie zutreffend es ist, die reibenden Flächen im Reibungsgesperre als sehr fein verzahnt anzusehen (S. 572). Danach werden grösserflächige Bremsschuhe angewandt, in dem Sinne, den Fig. 524 verständlich machen soll. Sobald das an *h* angreifende Zugseil, das den Förderkorb nebst Fangwerk *bcdefg* trägt, abreisst, schliesst die Feder *g* das Gesperre, das nun mit dem Bremsschuh *b* die erforderliche Reibung an der Schachtlatte *a*, in die das Sperrad übergegangen ist, hervorzurufen hat. Alle Formen des Sperrschuhes und der Klinke *c* und deren Umbildungen zu Keil und Keilschuh*) werden durchlaufen. Ganz zuletzt tritt ein Maschinen-Ingenieur**) mit scharfer Untersuchung an die Aufgabe und zeigt, dass man nicht die volle Aufhaltekraft anwenden, sondern, um unwiderstehliche Stösse zu vermeiden, mit einer kleineren Kraft nur bremsen und den Korb allmählich zur Ruhe bringen solle und hierfür den Förderkorb den Kräften entsprechend zu bauen habe; die Ausführungen entsprachen diesen Erwägungen. Die Aufzüge für Wohngebäude wurden von Anfang an, nachdem die Schachtaufzüge schon zum Reibungsgesperre vorgedrungen waren, alsbald mit solchen bremsenden Gesperren ausgerüstet. Versager an letzteren sind sehr selten.

Fig. 524



*) Vergl. Konstrukteur IV. Aufl. S. 634.

**) Hoppe, s. Konstrukteur, wo S. 652 sein Fangwerk näher besprochen ist.

Wirft man von diesem Punkte einen Blick auf die Eisenbahn-Fangwerke, d. i. die Bahnzugbremsen, so findet man von früh an das Reibungsgesperre, das sich wegen der Laufräder unmittelbar darbot, in Anwendung. Der Hemmschuh des Strassenfuhrwerks kam freilich vor in der sog. Schlittenbremse, dem Stabgesperre, aber verschwand wieder, da die Bremsung der Laufräder sich nach wie vor als das besser durchführbare Verfahren erwies. Von der Bremsung der wenigen oder sogar nur eines einzelnen Wagens gelangte man zu der gleichzeitigen Bremsung aller Wagen des Zuges vermittelst der sog. durchgehenden Bremsen. Die bedeutende Verbesserung des Bahndienstes, die dadurch erreicht wurde, ist bekannt. Man betreibt sie, d. h. rückt das fangende Gesperre ein und aus, mittelst Zugelementes oder Tracks nach Heberlein, oder mittelst Druckelementes oder Fluds nach Westinghouse, Carpenter und Andern. Immer aber ist nicht die plötzliche Sperrung, mit der man bei den Schachtaufzügen sich so lange behalf, sondern die allmähliche, die lebendige Kraft der bewegten Massen langsam aufzehrende Reibungssperrung der Grundgedanke. — Auch auf Schwungräder an Landdampfmaschinen, die wegen Triebwerkbruchs durchgehen könnten, hat man Fangwerke angewandt*).

§. 92

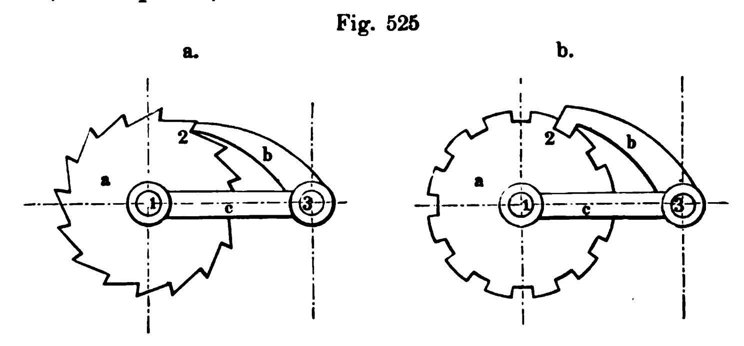
Trackgesperre

Nachdem wir im Vorstehenden die ersten drei der sechs Gattungen von Gesperrtrieben einer Uebersicht unterworfen haben, müssen wir, um gut fortfahren zu können, der Einführung der beiden bildsamen Elemente, des Zugelementes und des Druckelementes, oder, wie wir ja kürzer sagen, des Tracks und des Fluds in die Sperrtriebe noch besprechen, zunächst hier die des Tracks. In der kinematischen Kette aus den drei Gliedern: Sperrstück, insbesondere Sperrad *a*, Sperrrklinke oder Sperrer *b* und leitendes Verbindungsstück oder Steg *c*, Fig. 525 (a. f. S.), kann mit Erfolg sowohl das Sperrstück a, als der Sperrer *b* durch ein Track vertreten werden. Dies gilt auch von dem Reibungsgesperre Fig. 526 a und b (a. f. S.), indem bei letzterer Bauart

*) Modell einer solchen Vorrichtung im kinematischen Kabinet der Königl. Techn. Hochschule zu Berlin.

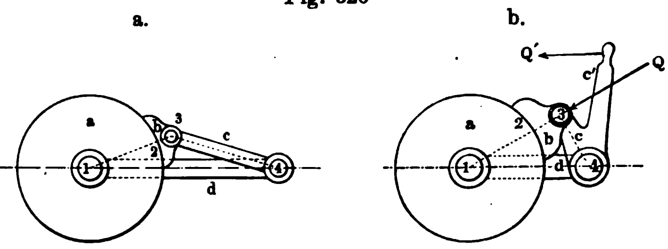
die Bremsbacke *b* mit dem Lenker *c* eigentlich nur ein einziges Glied, den Sperrer, bildet.

Fig. 525



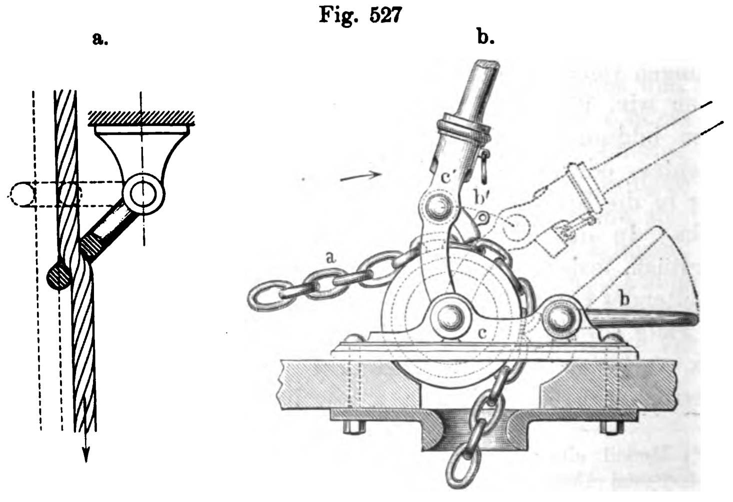
Ist nun das Sperrstück ein Seil, so ist es mittelst der „Oehr-

Fig. 526



klinke“ leicht zu sperren, wie in Fig. 527 a angedeutet ist und in allerlei Ausführungen, namentlich an Rollvorhängen, geschieht.

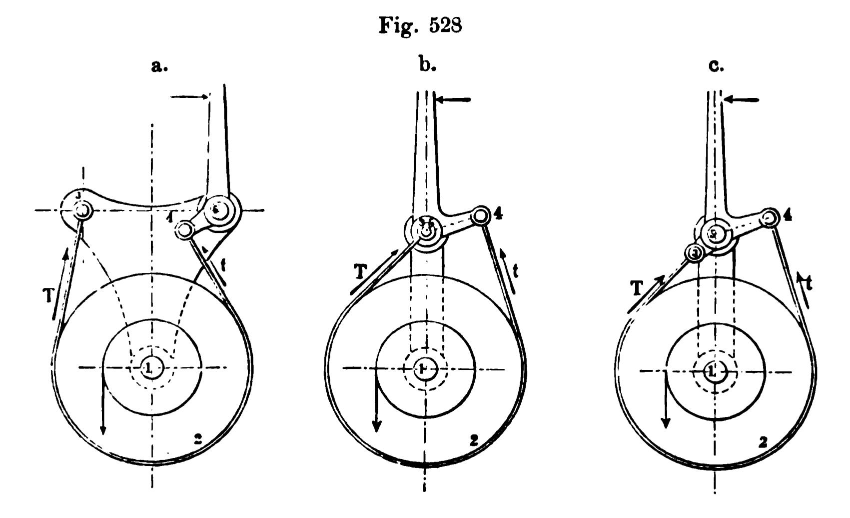
Fig. 527



Ist es eine Kette, so dienen deren Glieder, wie unter b für eine Ankerwinde dargestellt ist, als Zähne, zwischen welche eine starre Sperrklinke *b'* eingreift*); beide Gesperre sind laufende.

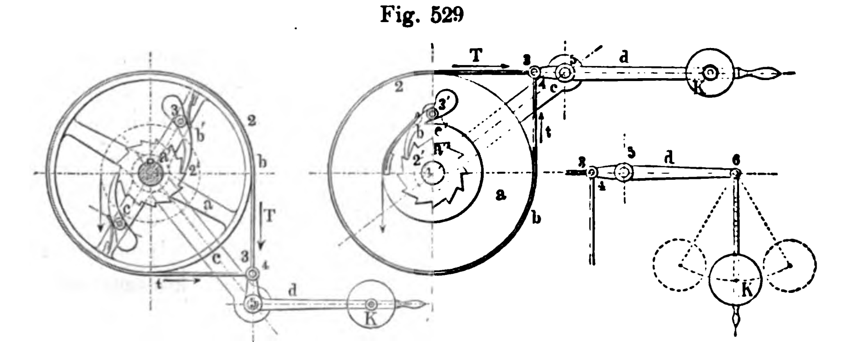
Die zweite Ersetzungsart, die des Sperrers *b* durch ein Track geschieht in den „Gurtbremsen", s. Fig. 528, meistens durch ein

Fig. 528



Stahlband. So gut wie die obigen starren Sperrklinken kraftschlüssig angelegt werden (vergl. S. 572), geschieht das auch hier,

Fig. 529



und zwar durch die an dem „Bremshebel" angreifende Kraft, gewöhnlich Handkraft. Ist diese Schliesskraft kleiner, als nöthig

*) S. Génie industriel Bd. XXXII, S. 124, Verriers Ankerwinde.

ist, um die Bremsscheibe festzuhalten, so gleitet diese in der Gürtung und erfährt die erwähnte „Bremsung“ *).

Bei den Gurtbremsen in Fig. 529 (a. v. S.) ist die Schliesskraft, ausgeübt durch das Gewicht K, so gross gewählt, dass die Gurte die Scheibe sicher sperrt, d. i. mit ihr ein ruhendes Gesperre bildet, und wird nur von Hand vermindert, wenn man Gleitung eintreten lassen, also das Gesperre lösen will. Die vorliegenden Bremsen nannte ich deshalb Lösungsbremsen **). Damit bei demselben der Vorwärtsgang der Welle von a trotz Beibehaltung der Wirkung von K stattfinden kann, ist die Bremsscheibe nicht fest, sondern durch ein Zahngesperre mit a verbunden. Es liegt also beidemal ein Sperrtrieb zweiter Ordnung vor.

§. 93

Fludgesperre oder Ventile

Die verschiedenen Vertretungen eines starren durch ein bildsames Element, die wir soeben betrachtet haben, können auch durch Flude geschehen und finden in der That unzähligemal statt. War bei den Gesperren aus starren Gebilden der Reichthum an Formen schon gross, hier ist er noch viel grösser. Erst der vom Verfasser geführte Nachweis ***), dass die Ventilvorrichtungen Gesperre sind, hat es ermöglicht, deren Gebiet, das sich ungemein ausgedehnt hatte, übersichtlich zu machen.

Man kann sowohl das Sperrstück a durch ein Flud vertreten lassen, als auch den Sperrer b, ja sogar auch beides vornehmen. Ist das Sperrstück a ein Flud, so kann der Sperrer b ein starres Gebilde sein, indessen auch aus weichem, sich an die Schlussflächen anschmiegenden Stoff hergestellt werden, wir wollen sagen ein „festes“ Gebilde sein. Ist der Sperrer ein Flud, so können wir dieses allgemein als „flüssig“ bezeichnen, indem wir von der Strenge des Ausdrucks ein wenig absehen, und können dann unterscheiden: feste und flüssige Ventile.

---

*) Bei Prof. Brauers Kraftmessungszaum ist die Gurte meist ein (Stahl-) Draht; die Schliesskraft dient dann zur Messung der Arbeitsstärke, die dem Schieber zugeführt wird. S. Scholls Führer des Maschinisten X. Aufl. S. 578.

**) Ausführliches im Konstrukteur IV. Aufl. S. 856 ff.

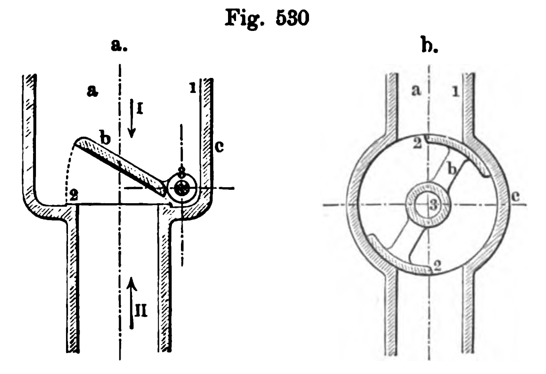
***) S. im ersten Bande §. 126.

a) Feste Ventile

Bei keinem Maschinenelement hat sich eine ungeeignete Namengebung so hinderlich für das Verständniss erwiesen, als bei denen, die wir Ventile nennen. Der Name stammt aus dem Mittelalter, ist spätlateinischen Ursprungs und bezog sich zuerst nur auf bewegliche Luft- oder „Wind“-Verschlüsse an den Kirchenorgeln. Aber schon früh wurde dieselbe Verschlussvorrichtung auch für Wasser angewandt, ja war schon im klassischen Alterthum, sicher 130 v. Chr., in der Feuerspritze dafür benutzt worden*). Es ist zu bedauern, dass das Wort „Ventil“ bei uns als ganz leerer Klang benutzt werden muss, bei dem wir an den Wortsinn meist gar nicht denken dürfen**), da der sich doch nur auf Luft bezieht.

In folgender Figur stellt a ein laufendes, b ein ruhendes Fludgesperre — Vorrichtung zum Sperren von Flud — mit festem

Fig. 530



Sperrer dar, und zwar entsprechen die beiden Bauarten denjenigen in Fig. 490 unter der Voraussetzung, dass daselbst die

*) Durch Ktesibios von Alexandrien, den Lehrer des Heron. Die Römer nannten eine Klappe im Orgelwerk oder in der Wasserpumpe *axis* (Vitruv X, 12 und 13), eine Bezeichnung, die auf das Klappengelenk hinweist (das Wort *axis* hatte eine förmliche kleine Schaar von Bedeutungen). Eine andere römische Benennung für einen Flüssigkeitsverschluss war *epistomium*, einem griechischen Wort nachgebildet und an Bedeutung gleich; es war angewandt auf den Hahn an Gefässen.

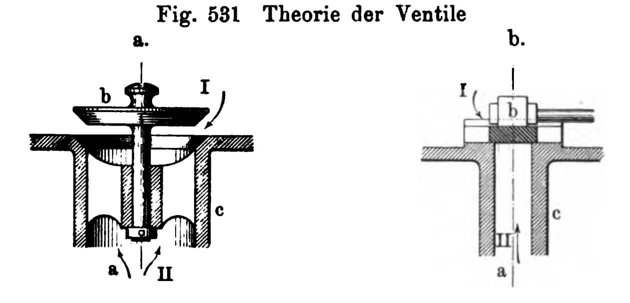
**) Den Franzosen ist es nicht besser gegangen als uns in der Sprachentwicklung der vorliegenden Technik. Das mönchische Fremdwort Ventil haben sie allerdings nicht aufgenommen. Sie gebrauchen statt seiner bekanntlich „*soupape*“. Das aber kommt, wie die Sprachforschung (vergl.

Sperräder unendlich gross, d. h. Sperrstangen seien. Das Flud *a*, das in dem Gefässraum des Gliedes *c* seine Leitung findet, so gut wie oben das Rad *a* in der Lagerung am Gliede *c*, schliesst in dem Falle unter *a* das Gesperre, sobald es sich in der Richtung des Pfeiles I bewegt, öffnet dagegen das Gesperre, hebt nämlich den Sperrer, wenn es in der Richtung II fortschreitet. Bei dem Gesperre unter *b* findet Sperrung des Fludes in beiden Richtungen statt, wenn der Sperrer in die Schliesslage gedreht wird; dagegen kann Vorwärts- oder Rückwärtsgang stattfinden, wenn, wie gezeichnet, der Sperrer aus der Schliesslage herausgedreht ist.

In einer Richtung kann also das Flud unter *a* den Sperrer *b* bewegen, das unter *b* dagegen kann den Sperrer garnicht aus der Stelle rücken, beides ganz wie bei den Zahngesperren. Es herrscht also kinematisch nicht bloss Aehnlichkeit, sondern völlige Gleichheit zwischen den Trieben in Fig. 530 und Fig. 490, nur ist das Sperrstück oben ein starrer Körper, hier ein Flud.

Die Formabwandlungen, die bei den Zahngesperren den Sperrer betrafen, sind auch hier durchführbar; der Ueberführung der Klinke in einen „Riegel" (S. 566) entspricht die Einrichtung

Fig. 531 Theorie der Ventile



des Ventils zu geradliniger, statt der obigen kreisförmigen Bewegung, s. Fig. 531. Im Falle unter a wird der ganze Sperrer

Scheler, Dict. d'étym. française, III. Aufl. S. 472) ermittelt hat, von dem spanischen „sopapo" her, und bedeutet ursprünglich den Kinnschlag, Fechterschlag unter das Kinn. Es steckt also Klangnachahmung in dem Innern des Wortes, wie in unsrem „Klappe", was ja auch auf den Laut beim Niederschlagen des Stückes anspielt. Die englische Sprache ist glücklicher gewesen, indem sie aus lateinisch *valva* = Thürflügel, Thür, ihr *valve* für Ventile aller Arten gemacht hat und demzufolge sich schon im Wortlaut sicherer verständlich machen kann, als ihre Nachbarsprachen. Das Wort „Ventil" hat mit uns in älteren, freundlicheren Zeiten nur die dänische Sprache angenommen.

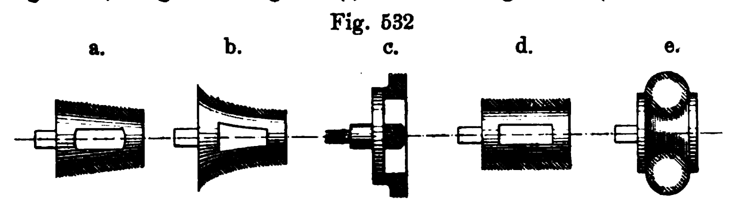
von seiner Sitzfläche hinweggehoben, in dem unter b wird der ganze Sperrer verschoben, macht eine geradlinig gleitende Bewegung gegen seine Sitzfläche; letztere heisst in beiden Fällen wegen der Gleichheit der einander berührenden Flächen der Spiegel des Ventils. Als Hebung und Gleitung sind auch die Sperrerbewegungen von Fig. 530 zu bezeichnen. Aus diesem Grunde unterscheiden wir die beiden Ventilgattungen als

a) Hebungs- oder Hubventile,
b) Gleitungs- oder Schiebventile;

letztere heissen ja auch kurz Schieber. Ein Blick auf unsre Figuren lässt bald erkennen, dass die Mechanik der Ventile wegen der Strömung der Flude, vor allem der tropfbar flüssigen, sehr verwickelt sein kann und deshalb schwierige und weitläufige Untersuchungen hervorrufen musste. Diese traten so sehr in den Vordergrund, dass wohl begreiflich wird, wie die engen Zusammenhänge der Ventile mit den Zahngesperren unbemerkt bleiben konnten. Beim Durchgang des Fludes durch die Ventilwege sind Kraftverluste unvermeidlich, ja können bei engen Durchlässen, namentlich in den Schiebventilen, ausserordentlich gross dadurch werden, dass Wirbel und Reibungen Kräfte verzehren. Aber umgekehrt geht auch daraus hervor, dass die Ventile auch ohne weiteres als Reibungsgesperre dienen können, oder solche auch geradezu sind; mit andern Worten, die Unterscheidung von Zahn- und Reibgesperren (vergl. S. 572) fällt hier weg.

Die Form des Ventils kann vielfach abgewandelt werden. Viereckige Klappen, runde Klappen, quergelenkig, krummgelenkig, solche auf ebenem Sitz und solche auf Trichtersitz (Letestu), steifgebaut, biegsam hergestellt, rollbar hergestellt (Rollschützen)

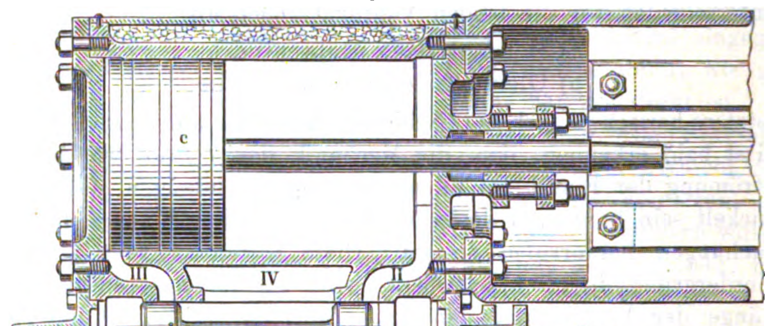
Fig. 532



sind als Hubventile im Gebrauch. Die Drehkörperform, die dem Gleitventil als Grundform zukommt, s. Fig. 530 b, kann ein gewöhnlicher Kegel sein, auch ein Konoid, auch ein Plankegel, auch ein Cylinder, s. Fig. 532 a bis d; der Cylinder kann unendlich im Halbmesser werden, was zu dem Flachschieber, Fig. 531 b

führt; der Drehkörper kann aber auch ein Globoidring sein*), s. Fig. 532 e und dann dieser einen unendlichen Halbmesser erhalten, wobei man zum Kolbenschieber gelangt. Einen ausgebildeten Schieber dieser Art stellt Fig. 533 dar. Der Kolbenschieber ist endlich nicht bloss in der geradlinigen, aus der

Fig. 533



Drehung um eine unendlich ferne Achse entstandenen Bewegung verschiebbar, sondern auch um seine Achse drehbar. Dies ist nutzbar gemacht in dem Rider'schen Schieber.

Dieses letzte Beispiel erinnert daran, dass der Weg eines Ventiles ausser geradlinig und kreisförmig auch schraubenförmig gewählt sein kann und gewählt wird.

Die Betreibung mancher Ventile von ausserhalb des Fludgehäuses hat dazu veranlasst, auf Kleinhaltung ihrer Hebungs- und Verschiebungskraft hinzuwirken; dies führte zu der Reihe der „Entlastungs"ventile, Hub- wie Schiebventile.

Bei den gewöhnlichen Pumpen lässt man die angewandten Hubventile durch den Flüssigkeitsstrom heben und durch ihr Gewicht senken, wie schon bei den ältesten Ausführungen geschah; in manchen Fällen aber erheischt die gewünschte Schnelle des Kolbenbetriebs, die Hubventile von aussen zwangläufig zu bewegen; man nennt dies das Steuern der Hubventile.

Zahlreich endlich sind die Vereinigungen mehrerer Ventile an oder in einem einzigen Sperrkörper, was sowohl mit Hub-,

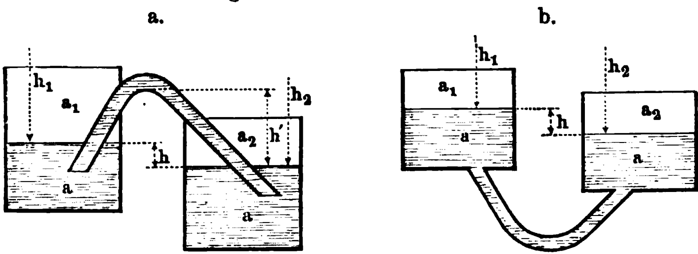
*) Ausführliches s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 569 ff. und in gedrängterer Form in Weisbachs Ingenieur, VII. Aufl. S. 857 ff.

als mit Schiebventilen geschieht und abermals eine Reihe von Bauarten hat entstehen lassen, die den schlichten Grundgedanken des Fludgesperres verwirklichen, für Viele auch verdunkeln.

b) Flüssige Ventile

In einem Fludgesperre kann man auch den Sperrer selbst, wie oben erwähnt wurde, aus einem Flud bestehen lassen. Die flüssigen Ventile sind auf zwei Formen zurückführbar, den Heber und den Düker. Zwei Mengen einer und derselben Flüssigkeit verbindet der Heber oberhalb, der Düker unterhalb der beiden, beispielsweise um h ungleich hoch stehenden Spiegel, s. Fig. 534;

Fig. 534 Heber und Düker

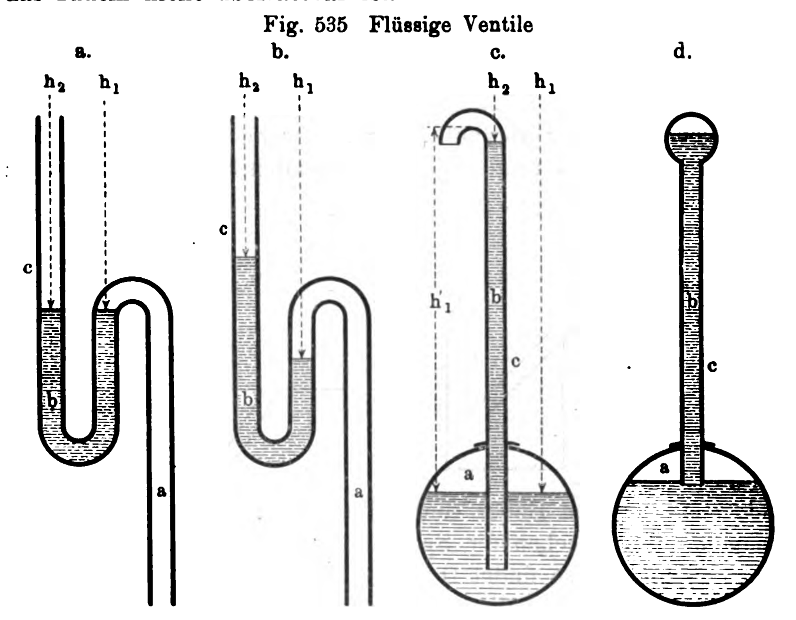


andrerseits trennen Heber und Düker die Flude a_1 und a_2 von einander. Entsprechen die Spannungen in letzteren den Druckhöhen h_1 und h_2, so findet Durchfluss statt unter der Druckhöhe $h_1 - h_2 + h$, welcher Werth positiv, negativ und auch Null sein kann. Hierauf beruht die Verwendbarkeit eines Fludstranges als Sperrer für Flude, namentlich gasförmige. Fig. 535 (a. f. S.) führt Beispiele vor.

a Wasserabschluss in einem Rohr, Dükerventil, welches ein aufwärts dringendes Gas a sperrt und zwar so lange, als die in Wassersäule angegebenen Druckhöhen einen kleineren Unterschied $h_1 - h_2$ haben, als die zweifache Schenkellänge s des Dükers. Angewandt in unzähligen Ausführungen in Gasfabriken, Laboratorien, Färbereien, an Abfallröhren usw. Dieselbe Vorrichtung, siehe unter b, dient auch zum Messen des Druckes h_1 bei kalibrirter Röhre im Barometer, Vakumeter, Manometer, wobei das Ventil b aus Quecksilber, bei geringen Pressungen aber auch aus Wasser besteht; das flüssige Ventil selbst zeigt also hier an, wofern sein Gehäuse, das Glied c, durchsichtig ist, oder mittelst eines Schwimmers Anzeigen geben kann, wie stark es gepresst wird.

c offenes Standrohr an Kochkesseln und gewissen Dampfkesseln. Das flüssige Ventil *b* dient als Sicherheitsventil, hebt sich nämlich, wird in die Höhe getrieben, wenn die Dampfspannung h_1 die Säulenhöhe h_1' des Dükers übersteigt. Die Standrohrfüllung „wirkt“ nicht bloss wie, sondern „ist“ ein Ventil, das zudem nicht überlastbar ist.

Fig. 535 Flüssige Ventile



d geschlossenes Standrohr an Dampfkesseln, angewandt u. a. beim Schwartzkopff'schen Wassermangelmelder, welcher zu wirken beginnt, sobald der Spiegel im Kessel zu tief sinkt, indem nämlich dann das Ventil *b* abfliesst und Dampf nach oben treten lässt, der alsdann durch seine Wärme weiterhin Einfluss ausübt.

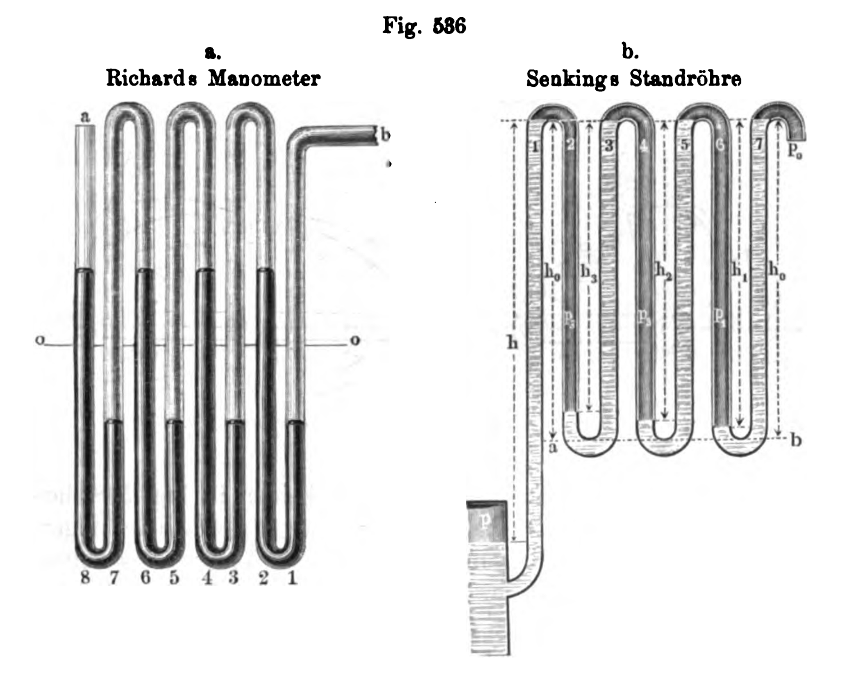
Eine mehrfache Verbindung von Dükern und Hebern zu einem zweiflüssigen Ventil ist das Richard'sche Manometer. Eine Vereinigung von Quecksilberdükern, die durch räumlich ihnen gleiche Wasserheber getrennt sind, s. Fig. 536 a, ermöglicht, das Quecksilbermanometer auf geringe Höhe zu bringen. Richards hübsche Erfindung ist durch die Federmanometer ausser Gebrauch gesetzt worden, sein Grundgedanke aber glücklich durch Herrn Senking*) benutzt worden, um das Standrohr von Fig. 535 c durch

*) Sparherdfabrikant in Hildesheim, durch zahlreiche Kochherdbauarten sehr verdienstlich bekannt; das Ventil ist unter 36786 patentirt.

eine Vorrichtung von geringer Höhe zu ersetzen. Hier besteht, siehe Fig. 536 b, der Inhalt der Düker aus Wasser und der der Heber aus Luft, gemischt mit Wasserdunst. Eine eingehende Theorie des Senking'schen Ventils hat Prof. Dr. Wehage gegeben. Bei der Dükerhöhe $h_0 = 1$ m ergeben sich danach bei gewöhnlichen Verhältnissen die Werthe $h_1 = 0{,}92$ m, $h_2 = 0{,}86$ m, $h_3 = 0{,}81$ m und damit bei $h = 2$ m die Spannung p zu 1,459 at, entsprechend 0,459 at Ueberdruck. Das Senking'sche Ventil ist

Fig. 536

a. Richards Manometer b. Senkings Standröhre



amtlich statt des Standrohres zugelassen. Es ist in einem eisernen Schrein mit Rücklauf nach h hin untergebracht; wir erkennen in ihm ein vierschenkliges flüssiges Ventil.

Beim Hochofen bildet das flüssige Eisen mit der darauf schwimmenden Schlacke am Tümpelstein ein Dükerventil, das der Gebläseluft den Austritt versperrt. Auch nicht tropfbar flüssige Flude dienen gelegentlich als Ventile, so z. B. Sand bei Verschlüssen am Hofmann'schen Ringofen, Schlackengrus mit Wasser am Wilson'schen Wassergasofen *).

---

*) S. Journal of the Soc. of Chemical Industry, Manchester, Nov. 1883.

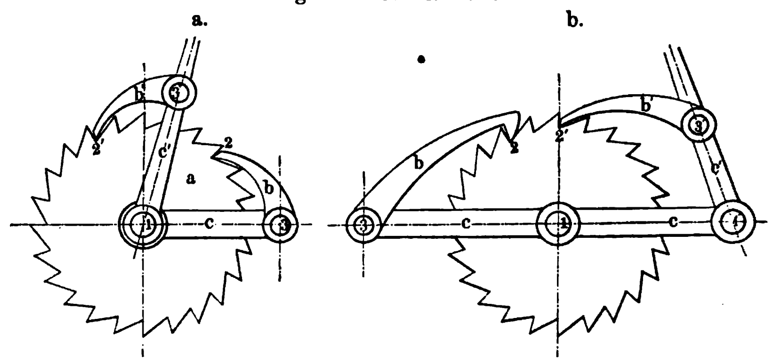
§. 94

Schaltwerke

Die Verbindung zweier laufenden Sperrwerke von gleicher Art liefert ein bekanntes Schaltwerk, s. Fig. 537; das eine ist auf c gestellt, das andere wird mit seinem Lenker c' schwingend bewegt. Die Schaltklinke b' befördert den Zahnkranz, wenn stets mit demselben Hub bewegt, stets um dieselbe ganze Zahl von Theilungen. Mancherlei andere Anordnungen der vereinigten



Fig. 537 Schaltwerke



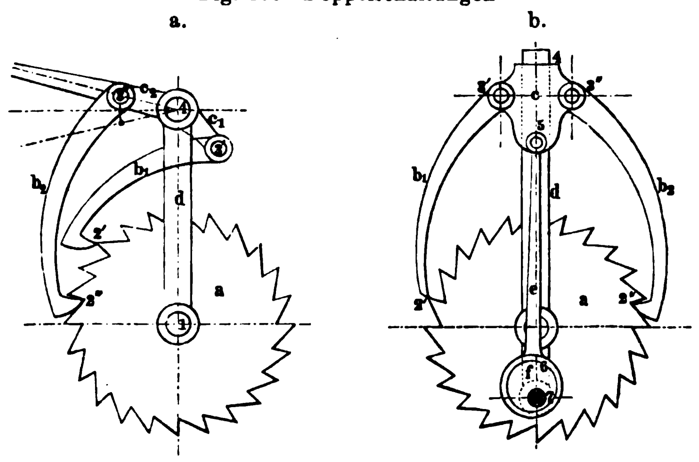
zwei Sperrtriebe sind ausführbar, so die beiden in Fig. 538 dargestellten, die bei jeder halben Schwingung des Klinkenträgers das Rad um halbe Theilungen und deren Vielfache schalten. Der Trieb unter a wird gewöhnlich so benutzt, dass er auf d gestellt ist; Thompson hat (1859) die Kette aber auch so zu einem Telegraphen benutzt, dass er sie auf den Klinkenträger c_1 c_2 stellte und d schwingen liess (kinematische Umkehrung). Der Trieb unter b, bei dem wieder das Glied d feststeht, heisst nach seinem Erfinder Lagarousse-Schaltwerk*).

Wird das Schaltwerk Fig. 537 auf ein Flud angewandt, das das Sperrstück a ersetzt, so liefert es, wie in Band I ausführlich, S. 461 ff. dargelegt wurde, die gewöhnliche Saug- und Hebe-

*) Beide Triebe waren schon im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts bekannt (vergl. z. B. Bélidor, Arch. hydraulique); der unter a fand damals auch mit Theilgesperre (S. 569) in Sägemühlen Verwendung, mit besonders feinen, mehrklinkigen in Steinsägereien, wo nur ein sehr kleiner Vorschub nach jedem Schnitt statthaft ist. Diese Klinkwerke aus laufendem Gesperre liegen für den Erfindungsgedanken nicht fern.

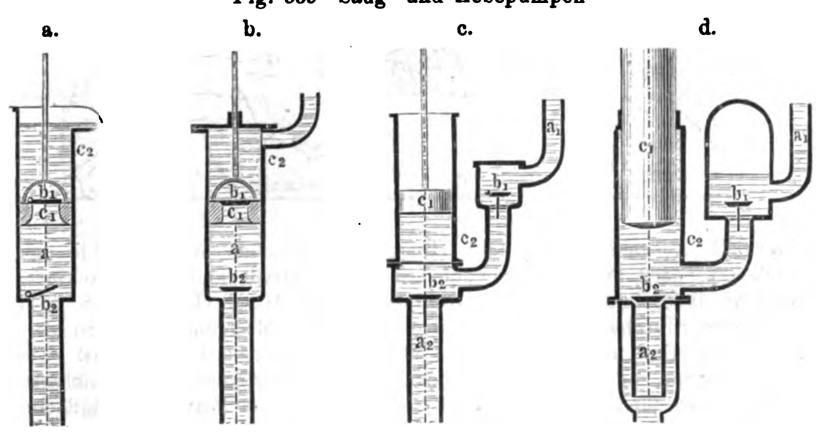
pumpe, die Fig. 539 in vier Formen darstellt*). Die hydraulische Presse stellt sich hier einfach als ein Schaltwerk dar, das einem

Fig. 538 Doppelschaltungen



Fludstrang von grossem Querschnitt, dessen Ende nach S. 272 fest gemacht ist, Wasser zuschaltet. Diese Fludschaltwerke sind

Fig. 539 Saug- und Hebepumpen



vielleicht älter als diejenigen für starres Sperrstück; schon vor zwei Jahrtausenden wurden sie zur Feuerspritze benutzt (s. S. 541), zu einer Zeit, wo freilich, wie wir bei den Spannwerken gesehen haben, die Zahngesperre schon in vollem Gebrauch waren. Dass

*) Eine Reihe anderer Ausführungen desselben Hauptgedankens siehe Konstrukteur IV. Aufl. S. 898 ff.

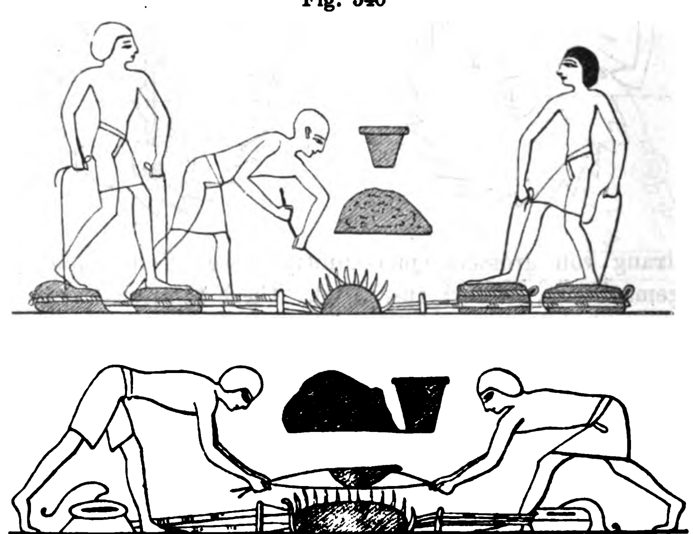
ein Mangel an Verständniss der Wasserpumpe neben deren Besitz viele Jahrhunderte lang hergieng, wissen wir aus den ehemaligen gelehrten Vorstellungen vom *horror vacui* *).

---

*) Es scheint, obwohl dieser beseitigt ist, nöthig, hier ein wenig auf die Entwicklung der Luftdruckpumpe einzugehen, da deren frühe Formen vielfach missverstanden werden. Dass das Thierfell, ein Zugelement oder Track, als Luftaufnehmer und Wiederaustreiber schon früh diente, lehrt der Name Blasebalg. Eine seiner geschichtlich ältesten Formen (von 1700 v. Chr) gibt die folgende Fig. 540, gemäss Wilkinson (Ancient Egyp-



Fig. 540

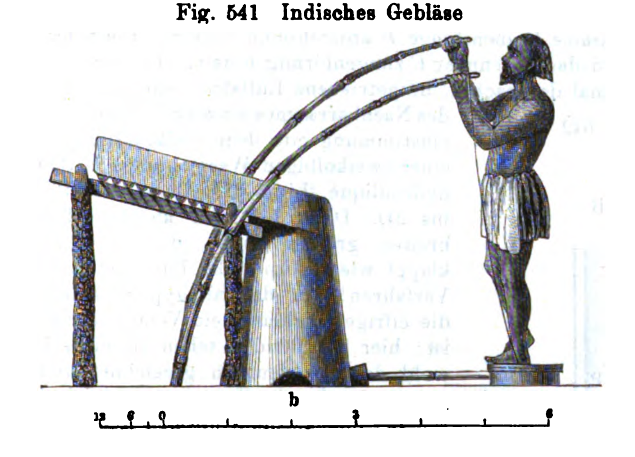


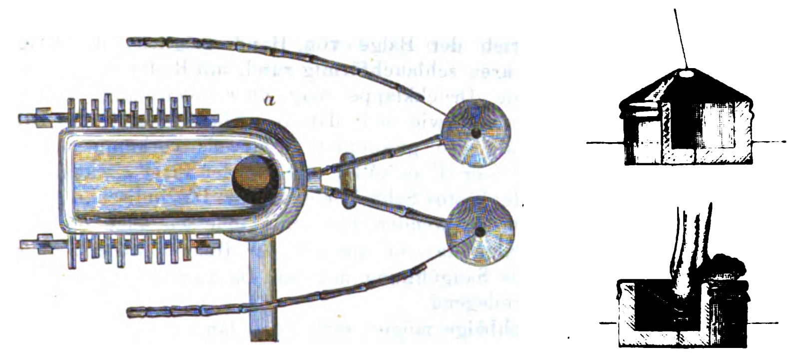
tians, kl. Ausgabe 1870), nach einem altägyptischen Wandgemälde aus Theben wieder. Wilkinson sowohl, als Ewbank (Hydr. and other machines, Neuyork 1870) und nach ihnen Rühlmann (Allg. Masch.-Lehre IV S. 544) vermuthen durchaus „Ventile“, also besondere Maschinentheile in den Blasbälgen aber mit Unrecht. Als Ventil dient, oder dessen Dienst versteht jedesmal die Ferse des Tretenden, wenn er den runden Balg mit dem nackten Fuss niederdrückt und dabei das Loch in der Mitte der Balgfläche schliesst. Nach der Niederpressung zieht er mit einer Schnur das Fell wieder in die Höhe, indem er die Ferse hebt; durch das Loch strömt dann frische Luft in den Balg hinein. Ein Druck- oder Steigventil ist aber überhaupt nicht da. Es wird dadurch entbehrlich gemacht, dass der Bälge stets zwei so nebeneinander wirken, dass während des Saugens des einen der andere Luft austreibt und nun die in das gemeinsame Düsenrohr hineingetriebene Luft daselbst ganz so wirkt, wie unser heutiges Lokomotivblasrohr, oder auch wie die Blasluft in der Sprühflasche, nämlich sogar noch Luft aus dem im Saugen begriffenen

Balg anzieht. Das Steigventil ist somit ganz entbehrlich und die von Wilkinson vermuthete „*Knowledge of the valve*“ überflüssig zur Erklärung; das alte Verfahren, ohne diese „*Knowledge*“ auszukommen, ist im Grunde das feinere.

Ein bis heute in Indien (z. B. in Orissa, Amdeah usw.) gebräuchliches Gebläse an Eisenschmelzöfen stellt Fig. 541 (nach Weddings Wieder-

Fig. 541 Indisches Gebläse





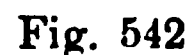
gabe in s. Eisenhüttenkunde, S. 495) dar. Einrichtung zunächst wie vorhin; die Ventilbildung durch die Ferse ist in der letzten Nebenfigur deutlich erkennbar gemacht, der Knebel der Aufzugschnur wohl etwas zu kräftig gezeichnet. Die Schnur wird aber nicht durch den Treter, sondern durch eine gespannte Bambusruthe in die Höhe gezogen, sobald der Blasmann die Sohle von der Balgplatte abhebt; eine nicht unwesentliche Verbesserung gegenüber Aegypten.

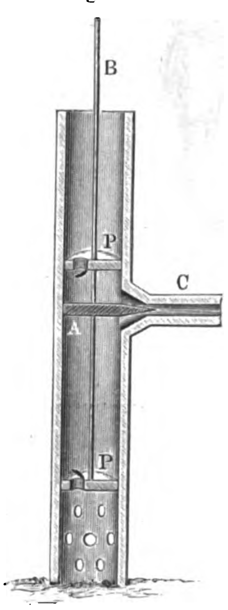
Noch heute ist auf Madagaskar ein merkwürdiges Kolbengebläse im Gebrauch, dass unsre obige Erklärung der Entbehrlichkeit der Druckklappe vollauf bestätigt. Fig. 542 (a. f. S.) stellt es nach Ewbanks Wiedergabe aus Mittheilungen von William Clark dar. Wieder sind zwei Gebläse zu

Ein Schaltwerk aus ruhendem Gesperre stellt Fig. 543 dar. Ein drehend bewegter Schalter d ist fest verbunden mit einem Auslöser 4.6, der beim Eingreifen des Schalters in das Rad a die

---

einer Maschine vereinigt. Statt der Bälge dienen aber zwei Kolben P, die jeder eine Saugklappe haben und bei ihrem gleichzeitigen Betrieb durch die gemeinsame Kolbenstange B abwechselnd wirken. Die Scheidewand bei A reicht in das Düsenrohr C zungenförmig hinein. Es ist nun verständlich, dass jedesmal der nach C hingetriebene Luftstrom saugend auf den Inhalt des Nachbarraumes einwirkt. Ewbank sieht Uebereinstimmung mit dem malagassischen Gebläse in einer zweikolbigen Wasserpumpe in Bélidors Arch. hydraulique (Livre III, Chap. III, Pl. 2, Fig. 20 bis 24). Diese hat aber an der Mittelstelle ein breites, grosses Ventil, das hin- und herüberklappt wie das in Halls Pulsometer. Sonderbares Verfahren! In das altägyptische Gebläse sehen die eifrigen Erklärer ein Ventil hinein, wo keines ist; hier bei Bélidor sehen sie eines heraus, obwohl dasselbe deutlich gezeichnet und ausdrücklich in der Beschreibung genannt ist.


Fig. 542



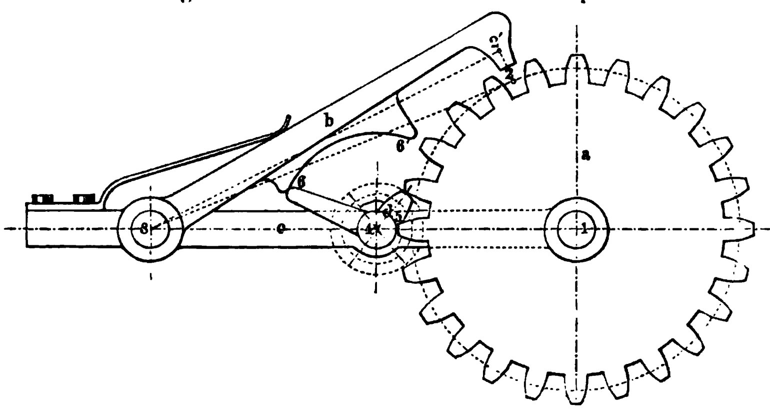
Bei den alexandrinischen Aegyptern und den Griechen und Römern kam zu der altägyptischen Einrichtung die Saugklappe und machte den Betrieb der Bälge von Hand möglich; die Bälge waren schlauchförmig rund, mit Reifen ausgesteift. Die Druckklappe mag aber noch lange gefehlt haben, wie sich daraus schliessen lässt, dass die Bälge so gewöhnlich paarweis vorkommen; bei Homer (Ilias XVIII, 469) werden ihrer „zwanzig“ in Hephästos Schmiede erwähnt. Die indischen Handwerker wenden bis heute indessen auch einfache Bälge an, die sie mit der Hand bewegen, dabei die Saugöffnung mit dem Daumen schliessend und freilegend.

Die bereiften Schlauchbälge mögen sich noch lange gehalten haben, wie eine Ausführung nebst Bild bei Agricola (De re metallica, 1550, S. 337) zeigt. Indessen waren die Blasbälge mit Gelenkbewegung und den so üblich gebliebenen dreieckigen Platten schon bei den Römern im Gebrauch. Ewbank führt aus Montfaucons *Antiquitées* eine bronzene altrömische Lampe an, die eine hübsche Darstellung eines Spitzbalges gibt, der anscheinend die Flamme anfacht. Im deutschen Hüttenwesen waren nach Agricola zu dessen Zeit die Spitzbälge, durch Handkraft sowohl, als durch Maschinenkraft betrieben, allgemein in wohlverstandenem Gebrauch; nie anders als paarweis sind sie bei ihm dargestellt. So wurden sie auch bei Kirchenorgeln gebraucht. Der Windkessel oder die „Haltung“, die oben, S. 357, besprochen wurde, scheint erst später aufgekommen zu sein; die Doppelbälge mögen also genügt haben. Erst der Haltungsbalg gestattete, mit einem einzigen Blasebalg für alle einfacheren Zwecke auszureichen.

ruhende Sperrklinke *b* aushebt. Dieser Trieb ist der Grundmechanismus weitaus der meisten Schlösser, er ist viergliedrig.

Dreigliedrig dagegen ist das Schaltwerk Fig. 544 a, dessen Rad durch seine Form an das Kreuz der Ritter von Malta erinnert;

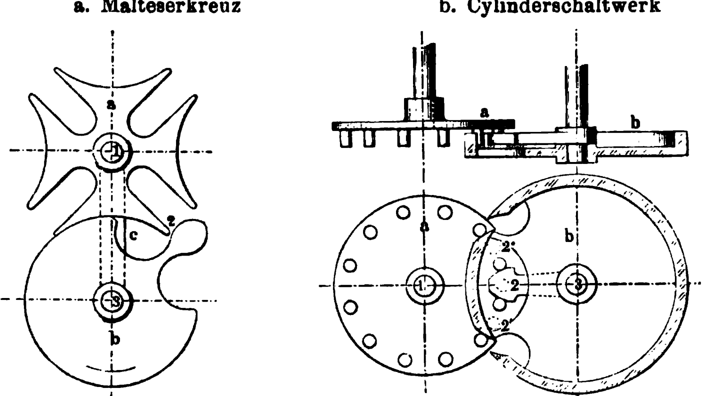
Fig. 543 Schaltwerk aus ruhendem Gesperre



es ist in Spieluhrwerken viel gebraucht*). Im Grundsatz von derselben Gattung, aber für Sperrung im Hohlrad eingerichtet, ist

Fig. 544 Schaltwerke

a. Malteserkreuz — b. Cylinderschaltwerk



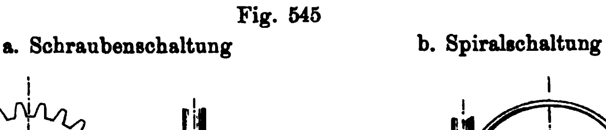
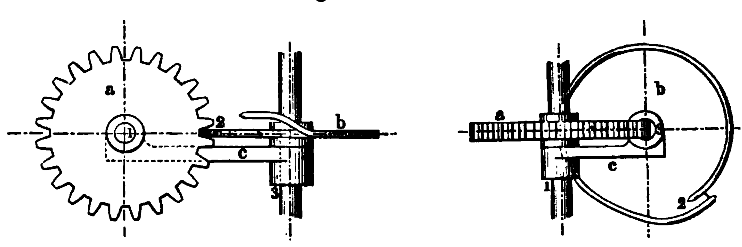
das Schaltwerk unter b, das an vielen englischen Gasuhren im Zählwerk benutzt ist.

*) Der Fabrikant Louis Jäger in Ehrenfeld bei Köln baut Ziegelpressen, in denen er durch ein grosses fünfarmiges Malteserkreuz einen fünfflächigen Formkasten Seite um Seite unter den, von einer Schubkurbel betriebenen Stempel rücken lässt.

Fig. 545 a Schraubenschaltung, gebildet aus Schartengesperre mit geschränkter Lage der Sperrachse unter Einschaltung einer schraubenartigen Schubkurve in die Lücke des sperrenden Ringes. Fig. b Spiralschaltung, ebenfalls aus Schartengesperre mit geschränkten Achsen gebildet, und zwar unter Einschaltung eines

Fig. 545

a. Schraubenschaltung b. Spiralschaltung

Stückes Spiral-Schubkurve in die Ringlücke an *b*. — Neuerdings sind die Schaltwerke am ruhenden Gesperre noch besonders praktisch ausgebildet worden durch Oberingenieur R. Hundhausen, der unter Durchführung strenger Zwangläufigkeit eine Anzahl besonderer Anordnungen derselben zur Patentirung angemeldet hat. Kurventriebe von mannigfacher Art (s. §. 81 bis 83) verwendet er dazu, sowohl die Sperrer ein- und auszurücken, als sie auch festzustellen, was vermöge Anbringung von Todtlagen in den Kurventrieben durchgeführt wird. Solche Schaltwerke dienen u. a. in den Siemens- & Halske'schen Maschinen zum Ausstanzen radförmiger elektromagnetischer Anker. Im Charlottenburger Werk sind allein zwanzig solcher Maschinen in vollem Betrieb. — Wichtige Fludschaltwerke, die aus ruhendem Gesperre gebildet wären, sind nicht anzuführen.

§. 95

Schliesswerke

Die Schliesswerke, als Gesperrtriebe zur Herstellung zeitweiliger, ganz widerstandsfähiger und dennoch leicht lösbarer Verbindungen finden zunächst unzählbare Anwendungen in den Schlössern, nämlich den Verschlüssen an Thüren, Thoren, Fenstern, Schränken, Laden, Kasten, Kapseln usw. Ihre Ausführung geht

von der Schlichtheit roher Holzgefüge bis zu der höchsten Verfeinerung der Genauigkeitsmechanik; ausserdem verläuft sie geschichtlich und völkerkundlich bis zu den letzten Grenzen des Gebietes der mechanischen Vorrichtungen.

Die oben, S. 558 erwähnte Theorielosigkeit der Schlösser hat zu Behandlungen derselben geführt, namentlich bei uns und bei den Franzosen, die nicht entfernt so nützlich, als mühevoll waren. Die auf 168 grossen Seiten der *Encyclopédie méthodique* und 140 desgleichen in Prechtls „technologischer Encyklopädie“, letztere von Karmarschs feiner Hand gegebenen Darstellungen veralteten wenig Jahre nach ihrem Erscheinen, da die Praxis alles das rasch überholte, was bloss „beschrieben“ und „gezeichnet“, nicht aber durch die Aufsuchung des wahrhaft Allgemeinen und Grundsätzlichen zu einer dauernden Grammatik des Gegenstandes gemacht war. Heute kann man mit jenen kostbaren und so sorgfältigen Beschreibungen geradezu nichts mehr machen. Das hat uns im Ausland die Bemerkung zugezogen*), dass „die Leute in England und Amerika mehr geneigt seien, die Arbeit zu thun, als sie zu beschreiben, wenn sie gethan sei“.

Bemerkenswerth ist, dass, ähnlich wie bei den Fangwerken, nicht bemerkt wurde, dass die Schlösser Sperrwerke, und zwar Zahnsperrtriebe sind, so dass unsre obige schlichte Figur 206 oder 490 alle ihre Formen im Keime enthalten, wie ich schon früher gezeigt habe**). Das Suchen nach diesem inneren Wesen hätte das Erste sein müssen und hätte früh schon die grössten Vereinfachungen mit sich gebracht. Statt dessen trat die gastfreundliche Technologie ihren Gästen, den Schlössern, ganz von aussen gegenüber, etwa wie einem Naturerzeugniss, nicht wie etwas, das aus Menschensinn und -kraft hervorgegangen ist. So hebt der von mir hochgeschätzte Karmarsch in seiner, sonst so trefflichen Technologie den Abschnitt von den Schlössern mit folgenden Worten an (S. 606): „Im Allgemeinen enthält jedes „Schloss einen Riegel, der mittelst eines Schlüssels in Be„wegung gesetzt wird, um auf die bekannte Weise die Ver„schliessung zu bewirken.“ Abgesehen davon, dass es eine ganze Reihe Schlösser gibt, die keinen Schlüssel haben, manche auch

*) Siehe Charles Tomlinson, Rudimentary treatise on the Construction of Locks, London, John Weale, 1853.

**) Theils im ersten Band, S. 450 ff., theils und vollständiger im Konstrukteur IV. Aufl. S. 663 ff.

keinen Riegel, ist doch mit solch einem Satz, der obendrein eine „bekannte Weise“ voraussetzt, nichts Wissenschaftliches gewonnen; es fehlt eben jede Begriffsbestimmung. Und doch wollte Karmarsch ausdrücklich die Wissenschaftlichkeit der Technologie aufzeigen; die Schlösser aber gehörten einfach nicht in die Technologie, sie waren unrichtig dort untergebracht.

Wenn andererseits der erwähnte Tomlinson darüber staunt, dass gewisse Schlösser, die auf den Faröer gebräuchlich seien, und zwar seit Jahrhunderten, in ihrem Bau gleich den altägyptischen wären, so zeigt das, wie vollständig ihm entgangen ist, dass die Einfachheit der ruhenden Gesperre etwas Kinematisches ist, d. h. bestimmten geometro-mechanischen Gesetzen folgt, und dass daher an durchaus verschiedenen Orten man auf dieselben Bauarten stossen musste. — Gehen wir aber in Kürze auf die Schlösser ein.

Fig. 546

Eine gewöhnliche Thürvorrichtung, z. B. eine Kesselofenthür, Fig. 546, ist schon ein Schliesswerk, und zwar aus laufendem Krongesperre; *a* Sperrstück (Theil eines Rades), *b* Sperrklinke, *c* Verbindungssteg mit den Paarungen 1 und 3, vergl. Fig. 490. Gestellt ist die Kette auf das Stück *a*, das ausserdem vermittelst der Schlagleiste das Stück *c* gegen *a* noch durch Hubbegrenzung sperrt. *c* bildet auch noch gegen die Luft, die in die Oeffnung von *a* eindringen wollte, Gesperre.

Eine gewöhnliche Zimmerthür mit sog. Nachtriegel bildet einen ähnlichen Ausschnitt, aber aus ruhendem Gesperre; die sog. „Klinke“ oder „Schiessfalle“ des Schlosses derselben Thür ist wieder Sperrer aus laufendem Gesperre. Die Verriegelungen unsrer Fenster mit senkrechtem Gehänge sind Schliesswerke aus ruhendem Gesperre. Unzählbar sind ihre Ausführungen; diese aber müssen ebenso gut mitgerechnet werden wie die feinsten Chubbschlösser.

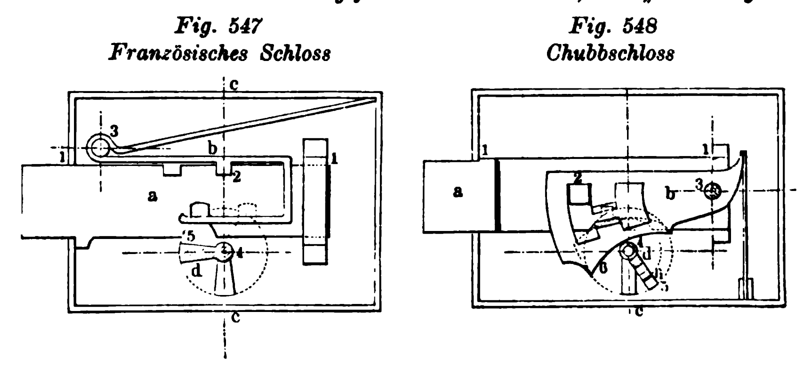
Bei den Schlössern mit Schlüssel ist dieser der Auslöser eines oder mehrerer Sperrer, sehr häufig ausserdem auch der Schalter für einen oder mehrere Riegel. Der herausnehmbare Auslöser und Schalter, genannt Schlüssel, und das Gesperre

werden, je sicherer das Schloss sein soll, mit um so grösserer Klügelei so eingerichtet — das „Eingerichte“ sagt der Schlosser —, dass verwickelte und verdeckte Formeinzelheiten die Eröffnung des Schlosses mit andern Hülfsmitteln als dem echten Schlüssel möglichst unthunlich machen. Die grosse Mannigfaltigkeit der Gesperrformen, die wir oben als im Wesen des Mechanismus beruhend fanden, wird hier nützlich, um Unbefugten die Auslösung der Gesperre zu erschweren. Einige Beispiele von Schlossbauarten seien vorgeführt.

1. Beispiel. Beim gewöhnlichen sog. französischen Schloss, Fig. 547, hat der Schliessriegel a die Einrichtung aus Schaltwerk, Fig. 543. Er ist das in einen Schaltstab übergeführte Schaltstück a; die „Zuhaltung“ ist

Fig. 547
Französisches Schloss

Fig. 548
Chubbschloss



seine Sperrklinke b, oft, wie hier, mit ihrer Schliessfeder aus einem Stück hergestellt, d. h. kinematisch: mit Blattgelenk, Fig. 107 d, statt mit Cylindergelenk, Fig. 106 a, ausgerüstet. Der „Schlosskasten“ c ist der Steg des Gesperres, der Schlüssel d der Auslöser 4.6 und zugleich Schalter 4.5; er kann aus dem Schloss entfernt werden. Mit dem „Schlossblech“ am Thürrahmen bildet der Schliessriegel a ruhendes Gesperre; die Zuhaltung b bildet ihrerseits mit dem Riegel ruhendes Gesperre, so dass ein solches von zweiter Ordnung hier vorliegt. Ein gewöhnliches Zimmerthürschloss mit Schiessfalle und Nachtriegel vereinigt hiernach in sich vier Gesperre, ein laufendes und ein ruhendes erster Ordnung und ein ruhendes zweiter Ordnung; bei einer Flügelthür kommen noch zwei ruhende Gesperre erster Ordnung in Gestalt der stehenden Thürriegel hinzu.

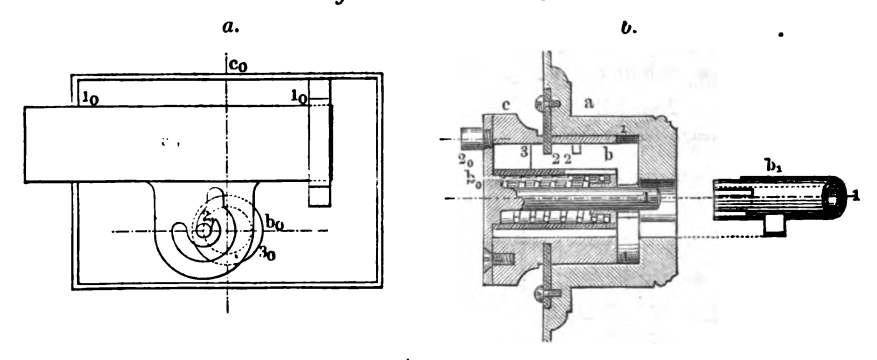
2. Beispiel. Bei dem Chubbschloss, Fig. 548, das bloss als Schrankschloss gedacht sei, bildet zunächst wieder der Schliessriegel a mit der Thür und dem Thürrahmen ein Schartengesperre nach Fig. 490 b. Er selbst aber ist in dem Schlosskasten, d. i. Steg c, gesperrt mit mehreren, z. B. sechs Genauigkeitsgesperren nach Fig. 509 und wird vor- oder rückwärts geschaltet nach Fig. 543 mit sauberer Verzahnung), wobei der herausnehm-*

*) Vergl. Näheres im Konstrukteur IV. Aufl. S. 659, Fig. 754 u. 755.

bare Schalter und Auslöser, genannt Schlüssel, den Schaltzahn 5 und so viele Auslösestufen 6 aufweist, als Sperrklinken vorhanden sind. Das Ganze ist ein ruhendes Gesperre zweiter Ordnung mit mehrfach wiederholten Haargesperren. Das Chubbschloss ist werthvoll und berühmt, indessen trotz der Unnachahmlichkeit seines Schlüssels in seiner vorliegenden Form nach dem Hobbs'schen Verfahren dietrichbar).*

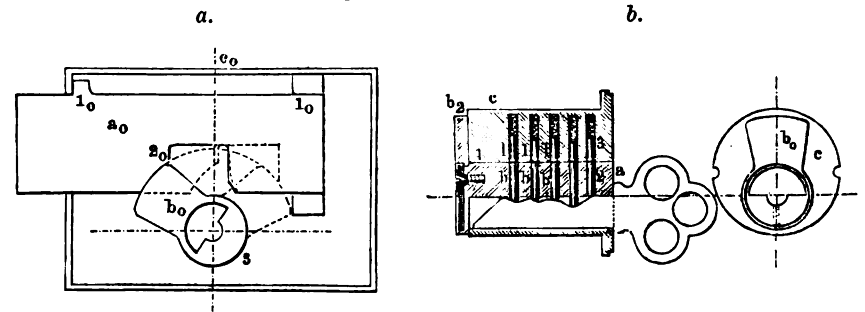
3. Beispiel. Das ebenso berühmte — und ältere — Bramahschloss, Fig. 549, hat einen Schliessriegel a_0 aus ruhendem Schaltwerk nach Fig. 544, der aber nicht durch „Zuhaltungen", d. i. Sperrklinken, sondern durch den

Fig. 549 Bramahschloss



Schalter b_0 2_0 vermöge der angewandten todten Verzahnung (s. oben S. 563) gesperrt wird. Der Schalter b_0 ist hier nicht wie vorhin herausnehmbar, sondern bleibt stets im Schloss, ein Umstand, der bei der alten technologischen Erklärung keinen theoretischen Ausdruck finden konnte; gesperrt ist nunmehr der Schalter und zwar mit Genauigkeits-Krongesperre in Wieder-

Fig. 550 Yale-Schloss



holung, und kann mittelst des Schlüssels, der die Haargesperre löst, vermöge eines prismatischen Mitnehmers gedreht werden. Auch das Bramah-

---

*) Ausführliches findet man bei Tomlinson a. a. O. S. 115 ff.

schloss ist nach dem Hobbs'schen Spannverfahren, das den Einbrechern schon vor Hobbs geläufig war, durch Dietriche geöffnet worden.

4. Beispiel. Das Yale-Schloss, Fig. 550, hat ebenfalls einen im Schloss verbleibenden Schalter. Dieser ist durch mehrfaches Haargesperre nach Fig. 504 gesperrt, während der Riegel a_0 durch todte Verzahnung bei z_0 gesperrt wird. Der blattförmige, neuerdings querwellig gestaltete Schlüssel dient mit seinen Flanken als Mitnehmer, mit seinem Rand als Auslöser für die cylindrisch gestalteten Sperrer. Die Querwelligkeit von Schlüssel und Schlüsselspalt hat das Schloss gegen das Hobbs-Verfahren soviel wie völlig geschützt. Die Kleinheit des Schlüssels ist ein grosser Vorzug. — Man stösst nicht selten auf die etwas wegwerfende Aeusserung, dass das Yale-Schloss mit dem ägyptischen, s. Fig. 551), übereinstimme, die Sperrstifte*

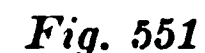
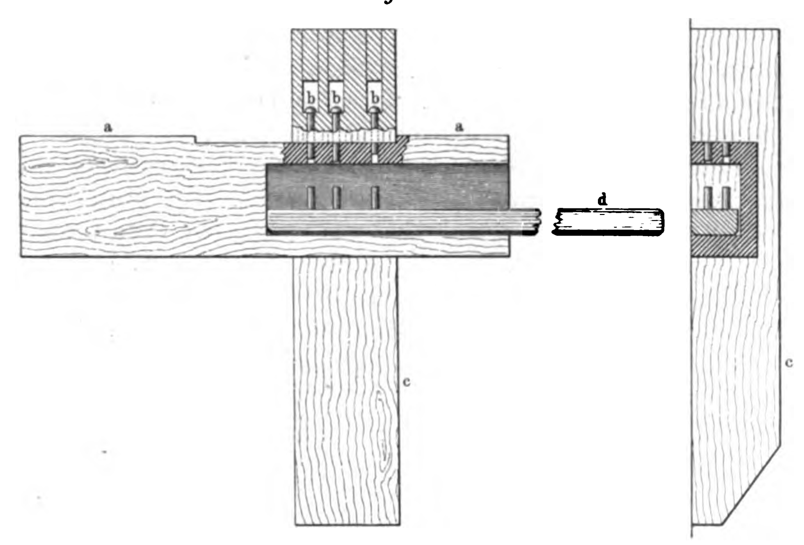


Fig. 551



seien dieselben und würden auch bündig zu der Oberfläche gehoben. Unsren obigen Betrachtungen nach ist diese Ansicht nicht richtig. Abgesehen davon, dass bei Yale nicht der Riegel, sondern der Schalter und zwar gegen Drehung, nicht gegen Schiebung gesperrt ist, sind die Sperrstifte bei Yale verschieden lang, ausserdem zweitheilig, vom Schlüssel getrennt und werden einzeln und ungleich viel durch die Randwellen des Schlüssels gehoben, während beim ägyptischen Schloss der zahnbürstenförmige Schlüssel lauter gleichlange, an ihm festsitzende Stifte hat. Gemeinsam ist den beiden

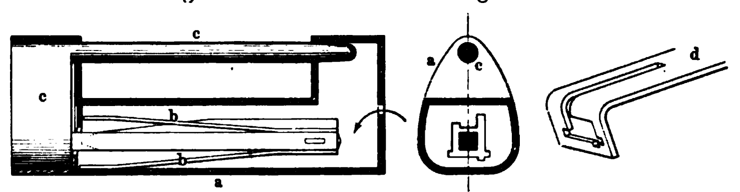
*) Das abgebildete ist ein in meinem Besitz befindliches syrisches Schloss, das mit dem alt- wie neuägyptischen in allem Wesentlichen übereinstimmt; das Schloss kommt auch noch weiter östlich vor, ja auch in China, wo man aber den Stiften schlüsselbartähnliche, verzwickte Querschnitte gibt.

Schlössern mit einer ganzen Zahl anderer, dass sie ruhendes Genauigkeitsgesperre mit stabförmigen Sperrern haben. Die dargestellte ägyptische Schlossform hat sich im Nillande vom Alterthum herauf bis heute erhalten; das Thor der Citadelle von Kairo ist mit einem solchen (aus Holz hergestellten) Schloss versehen, bei dem der Block c 1 m im Geviert misst. — Verwandte Stäbchenschlösser, aus Holz vom Stellmacher hergestellt, haben sich auch bei uns aus dem frühen Mittelalter in ländlichen Bezirken erhalten.

In Betreff des Verfahrens von Hobbs sei bemerkt, dass dieser 1851 zeigte, wie, wenn man vom leeren Schlüsselloch aus den Riegelschalter mittelst einer kleinen stetigen Kraft spanne, man mittelst dünner Haken die Zuhaltungen einzeln auf die richtige Höhe heben und da erhalten könne, wenn man bei der stärkst geklemmten beginne. Unsre Schlossbauer haben wirksame Vorkehrungen verschiedenster Art gegen diese Eingriffsweise mit vollem Erfolge ersonnen und eingeführt. Bemerkenswerth ist, dass die von Hobbs selbst vorgeschlagene Schlossbauart sich keine Stellung im Kunstschlossbau errungen hat.

Neben den Thürschlössern haben sich die Vorhängeschlösser, d. i. tragbaren Schlösser, von früh her ausgebildet. Mit besonderem Vorzug sind sie schon ganz früh aus laufendem Gesperre gebildet worden, und zwar mit federnden Sperrklinken, also mit solchen, die statt Cylindergelenks Blattgelenk haben (vergl. S. 156). Fig. 552 stellt ein chinesisches derartiges Schloss dar, das in

Fig. 552 Chinesisches Vorhängeschloss



Ostasien durchaus verbreitet ist. Der Schlüssel *d*, der so wie der Pfeil andeutet, in das hindernissige Schlüsselloch einzuführen und dann voranzuschieben ist, drückt die federnden Klinken *b* zusammen und schiebt den Schliesser *c* aus dem Sperrstück *a* heraus. Ganz ähnlich war ein sehr beliebtes altägyptisches Vorhängeschloss von hübscher Form gebaut, bei dem nämlich das Gehäuse *a* eine Löwengestalt nachahmte und der Schliesser den im Bogen zurückgeworfenen Schweif des Thieres bildete*). Fund-

*) Das „Löwenschloss" wird noch heute im Kaukasus, auch in Persien gebraucht und hergestellt, u. a. auch aus Russland nach dem letzteren

stücke altgriechischer, wie -römischer Herkunft erklären sich aus dem Vorstehenden deutlich als Schlosstheile. Verwandte Vorhängeschlösser sind weltverbreitet, namentlich an den Stätten asiatischer Kultur, und sind namentlich in bäuerlichen Bezirken bis tief in den Westen noch im Schwang mit allerlei Kunstgriffen, unter denen die Anwendung von Schrauben, rechts- wie linksgängigen, zum „Vexieren“ eine Rolle spielt*). An unsren heutigen Vorhängeschlössern ist der Bügel das Sperrstück *a*, das Gehäuse der Steg *c*.

Eine dritte Gattung von Schlössern bilden die schlüssellosen, sogenannten Kombinations- oder Buchstaben-Schlösser, die man auch Stellschlösser nennen könnte. Sie werden wesentlich aus ruhendem Gesperre gebildet. Die älteren sehr bekannten, von einer Anzahl drehbarer, mit Buchstaben besetzter Ringe gesperrt, brachte der erwähnte Hobbs mit einem Schlag um ihr Ansehen, indem er 1867 in Paris ihrem erschrockenen Aussteller wies, wie unzuverlässig sie seien. Die Yale-Towne-Gesellschaft hat aber die in Geldschrankthüren untergebrachten und gänzlich „unspannbaren“ Stellschlösser mit Ziffern wieder zur Brauchbarkeit erhoben. An den Schatzkammern der Banken und deren Schatztruhen hat unsre Schlosserkunst auch von diesen Zifferschlössern, überhaupt aber von verschiedenen Ausführungsarten der Kunstschlösser den weitestgehenden und ihre Tüchtigkeit beweisenden Gebrauch gemacht. Wichtig für uns ist der geführte Nachweis, dass die Tausende und aber Tausende von Schlossformen, die auf der Welt an getrennten Punkten ihre Entstehung und Entwicklung gefunden haben, ausnahmslos unter ein einfaches und immer dasselbe kinematische Gesetz fallen.

Eine sehr wichtige Verwendung finden die Schliesswerke im Eisenbahnwesen in den auf S. 518 schon erwähnten Weichenstellwerken. Die hier angewandten Schliesswerke sind meist sehr hoher Ordnung, zehnter, zwölfter und noch höherer, indem sie gegenseitig so wirken, dass gewisse Weichen- und Signalzüge erst alle passend gestellt sein müssen, ehe die Lösung des letzten Schliesswerkes und damit die letzte Signalstellung ausführbar

---

Lande geliefert. Im alten Aegypten war das Löwenschloss so häufig im Gebrauch, dass es, wie Brugsch und Lepsius gefunden haben, als Hieroglyphe für „Thor“ und dann sogar für „Stadt“ gebraucht ward.

*) Beispiele mannigfacher Art in der vom Verfasser beschafften Sammlung von Schlössern in der Techn. Hochschule zu Berlin.

wird*). Bei dem von Siemens & Halske hoch ausgebildeten „Blocksystem“ für Weichenstellung sind elektrische Vorrichtungen zum Sperren wie Freimachen der Schliesswerke der Weichen benutzt. Wichtige Schliesswerke sind auch die „Sicherungen“ an Handfeuerwaffen**).

§. 96

Hemmwerke

Aus einem Gesperre wird dadurch ein Hemmwerk gebildet, dass das Sperrstück vermöge Gesperr-„Lösung“ zeitweis dem Antrieb durch die Sperrkraft überlassen und alsdann durch Gesperr-„Schliessung“ wieder aufgehalten wird. Das Hemmwerk steht dem Schaltwerk gegenüber; es ist aus ganz derselben kinematischen Kette gebildet wie dieses; aber die Kraft, die beim Schaltwerk die treibende war, ist bei ihm die getriebene oder widerstehende. Der Bogen, Winkel oder Weg, der vom Sperrstück zwischen Lösung und Wiedersperrung zurückgelegt wird, heisst die Hemmweite, die auf sie entfallende Zeit die Hemmzeit. Ihr folgt Stillstand bis zur nächsten Lösung; seine Dauer heisst die Sperrzeit. Die Betreibung der Sperrer nennen wir allgemein die Steuerung. Die Hemm- und die Sperrzeit können durch Willenseinwirkung, d. i. vermöge Handsteuerung oder auch durch andere Umstände beliebig lang oder kurz gemacht werden, oder zusammengenommen ein unveränderliches Maſs haben, oder auch periodisch veränderlich, oder endlich auf verschiedenes Maſs einstellbar sein. Hiernach unterscheiden wir vier Hemmungsgattungen:

a) unregelmäſsig schreitende,
b) periodisch schreitende,
c) gleichförmig schreitende,
d) stellbare Hemmwerke.

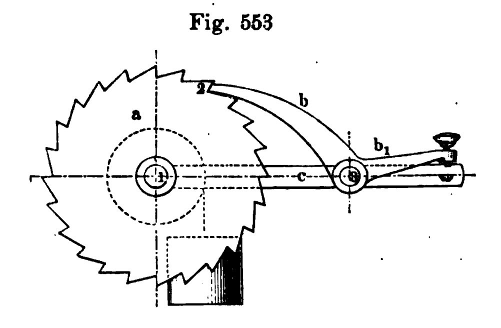
*) Zur Zeit ist das grösste bestehende Weichenstellwerk das des Hauptbahnhofes in Boston, in Betrieb gesetzt im Mai 1899. Es umfasst 350 Weichen und 150 Zeichengeber auf einem Geleisgebiet von 27 km Länge. Ueber dasselbe laufen im Fahrdienst täglich 710 Züge und das Dreifache im Verschubdienst. Für manche Züge sind 4 bis 6 Weichen zu stellen. Bei der bisherigen Bauart der Stellwerke würden für diesen Dienst 450 Hebel erforderlich gewesen sein, die einen Saal von 100′ Länge, sowie 12 Mann Bedienung gebraucht hätten. Man hat aber alles in einem Raum von 30′ Länge untergebracht, worin der Dienst von 3 Mann ausgeführt wird. Die Weichen- und Zeichenverstellung geschieht durch Pressluft, die Ventilverstellung elektrisch. (Engineering Mechanics Juni 1899, S. 99.)

**) Näheres s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 662.

Die Hemmwerke sind insofern die wichtigsten unter allen Trieben, als sie nicht nur für die Zeitmessung unschätzbare Dienste leisten, sondern auch vermöge Fludeinsetzung als Kraftmaschinen verwerthet werden können. Letzteres ist u. a. geschehen in der Kolbendampfmaschine. Dadurch aber ist das Hemmwerk zu einem, unser Kulturleben gänzlich umgestaltenden Einfluss gelangt, verdient also in ganz besonderem Grade vom Standpunkt der Zwanglauflehre aus betrachtet zu werden; diese so wichtige Maschine sollte vom Ingenieur nicht bloss physikalisch und mechanisch, sondern auch kinematisch vollständig verstanden werden; die Vereinfachung vieler Anschauungen, die sich dadurch erreichen lässt, ist womöglich noch bedeutender, als die bei den oben behandelten Gesperrtrieben.

Wird bei dem nebenskizzirten laufenden Gesperre, Fig. 553, das auf *c* gestellt sei, die Sperrklinke *b* durch Tupfen auf ihren Fortsatz b_1 ausgelöst und dann so schnell wieder fallen gelassen, dass sie den nächsten Radzahn noch auffängt, so hat Hemmung in dem besprochenen Sinne stattgefunden*). Wird der Vorgang in beliebigen und wechselnden Zeitabschnitten wiederholt, so hat man ein unregelmäfsig schreitendes Hemmwerk, das von Hand gesteuert wird, vor sich.

Fig. 553



Wird dagegen der Vorgang unter Innehaltung bestimmter, gleicher Zeitabschnitte, die länger als die Hemmzeit sind, wiederholt, so ist das entstandene Hemmwerk ein gleichförmig schreitendes. Im Maschinenwerk ist bei ihm die vom Willen geleitete Hand behufs der Gleichheit der Zeitschnitte durch einen Theil zu ersetzen, der sich taktmäfsig bewegt; ich nannte ihn aus diesem Grunde den Taktgeber.

Lässt man Zeitabschnitte von periodisch wechselnden Längen zwischen den aufeinander folgenden Gesperrlösungen verlaufen,

*) Ein besonderes Modell mit Standsäule in der von mir angelegten Sammlung leistet hier beim Vortrag ganz ausgezeichnete Dienste; von Herrn Mechaniker G. Voigt, Berlin, Neuenburger Strasse 12, zu beziehen.

zu welchem Ende geeignete Einrichtungen anzuwenden sind, so wird das Hemmwerk ein periodisch schreitendes.

Endlich kann man auch, statt jedesmal dieselbe Hemmweite anzuwenden, diese auf irgend eine Zahl von Theilungen ausdehnen, was keine ganz leichte Aufgabe war, da bei einfachen Gesperren, wie unser obiges ist, die Beschleunigung des freigegebenen Sperrstückes das rechtzeitige Abfangen mittelst des Sperrers sehr schwierig machte. Indessen, man hat die Schwierigkeiten überwunden und es dahin gebracht, jede beliebige Zahl von Theilungen als Hemmweite leicht einstellen zu können, womit man den Trieb zu einer Stellhemmung machte. Die vier Hemmwerkgattungen seien nun in Kürze besprochen.

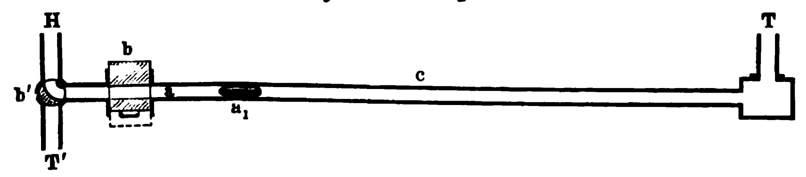
§. 97

Unregelmäſsig schreitende Hemmwerke

Sperrtriebe aus bloss starren Gebilden werden nur sehr selten zu unregelmäſsig schreitenden Hemmwerken benutzt; sehr häufig dagegen geschieht dies mit Fludgesperrtrieben, vor allem solchen, in denen das Sperrstück ein Flud ist, sei es Luft, sei es Wasser, sei es Dampf usw.

1. Beispiel. Eine im Grundsatz sehr einfache Fludhemmung ist die Felbinger'sche Rohrpost, s. Fig. 554. Bei H steht das Rohr c mit einer Hochdruckhaltung für Luft, bei T mit einer Tiefdruckhaltung für Luft in

Fig. 554 Rohrpost



Verbindung; b ruhendes Gesperre, hier gelöst dargestellt. Der Kolben oder Läufer a_1 wird als festes Ende der Fludsäule a der Leitung entlang getrieben; er enthält, als lederne Büchse geformt, die zu befördernden Papiere. Bei eingeleisiger Endstrecke kann die Tiefdruckhaltung T am Ende wegfallen, während aber eine solche T' mittelst Ventils b' an der Station zur Linken statt H einzuschalten ist, sobald einwärts gefördert werden soll. Die Bedeutung der Rohrpost ist bekannt. Sie ist in erfolgreichem Betrieb in Wien, Berlin, Paris, London, Brüssel, Liverpool, sodann in Philadelphia, Boston, Neuyork. Im Ausland hat man die Rohrweite, die in Berlin in dem, 42,3 km Rohrlänge umfassenden Netz 57 mm beträgt, schrittweis ge-

steigert und bei den neuesten Anlagen auf 206 mm gebracht. Dabei wird Tiefdruck nicht mehr angewandt, bloss Hochdruck von rund $^3/_4$ at Ueberdruck hinter dem Läufer. Die Hülfsvorrichtungen sind sehr ausgebildet; Fig. 555 zeigt im Querschnitt den Neuyorker Versender, bei dem der (schwingende) Schieber mittelst Luftdruck- Hemmwerkes verstellt wird. Alle sechs Sekunden kann ein Läufer abgefertigt werden. Neuyork hat jetzt 14 km Poströhren von der angegebenen Weite im Betrieb. Die geraden Röhren sind gusseiserne Muffenröhren, sauber und glatt ausgebohrt; in den Kurven liegen nathfreie, gebogene Messingröhren. Die Läufer haben nicht an, sondern nahe den Enden Dichtungswülste und durchstreifen sehr scharfe Kurven, s. Fig. 556 a; in dieser Figur stellt b den Berliner, c den Londoner, d den Philadelphier und e den Neuyorker Läufer dar. Das Neuyorker Netz dient nicht bloss für die Beförderung von Eilbriefen, sondern für die

Fig. 555
Rohrpost in Neuyork

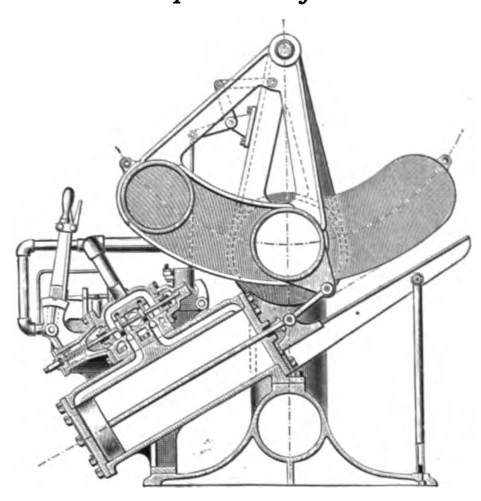


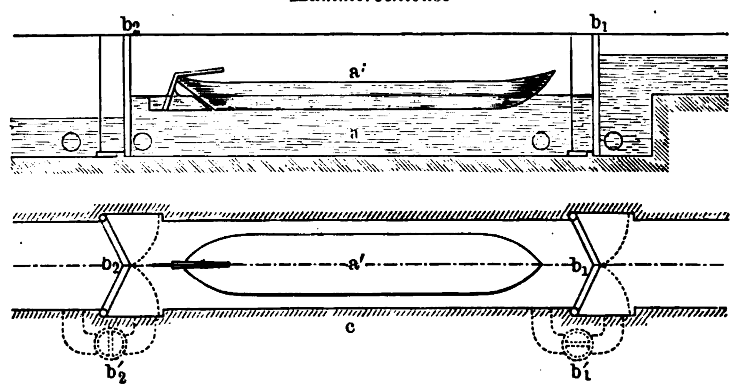
Fig. 556 Rohrpost-Läufer

a. *b.* *c.* *d.* *e.*

Vertheilung überhaupt aller brieflichen und ähnlichen Eingänge über die langgestreckte Stadt; ähnlich in Boston.

2. Beispiel. Vergleichbar an Bedeutung mit der Dampfmaschine ist die Schiffahrts-Schleuse. Dem Bauingenieur steht sie verhältnissmäfsig so hoch, wie jene dem Maschineningenieur; sie führt ihm schwere Schiffe über Höhen und Tiefen, zwangläufig, geräuschlos, sie muss also eine Maschine sein. Das ist sie in der That, und zwar ein Hemmwerk, insbesondere das erste Wasserhemmwerk, das erfunden worden ist). Die Kammerschleuse, s. Fig. 557, besteht aus zwei Fludhemmwerken, einem am Ober- und einem am Unterhaupt. Die Leitung ist eine offene (vergl. Fig. 116 c). Die Ventile b_1 und b_2 sind meist, wie hier gezeichnet, als laufende Gesperre aus-*

Fig. 557
Kammerschleuse



geführt, genannt Schleusenthore; manchmal werden sie auch als ruhende Gesperre gebaut (Schiebethore, Schwimmthore). Die kleinen Nebenventile oder Umläufe b_1' und b_2' gestatten es, das Niederlassen des Sperrstückes, hier Wasser, langsam beginnen und überhaupt langsam vor sich gehen zu lassen (Bremsung). Die Kammerschleuse braucht viel Wasser, da der Wasserstrang, der ein Schiff gehoben hat, verloren gegeben werden muss, meist ganz, und wenigstens zur Hälfte, wenn ein Fangbecken angelegt werden kann.

Die Trogschleusen dagegen, die wir oben, S. 330 und 338 wegen ihrer Parallelführungen besprachen, brauchen bedeutend weniger Wasser. Sie sind ebenfalls zweifache Hemmwerke. Es wird bei jeder Hebung eines Schiffes nur wenig mehr Wasser herabgelassen, als das Schiff wiegt, d. i. verdrängt; bei jeder Senkung eines Schiffes wird etwas Wasser gehoben. Beim Grand Western Kanal, der meist leere Schiffe nach unten sendet, schafft der Betrieb thatsächlich Wasserüberfluss in die oberen Haltungen.

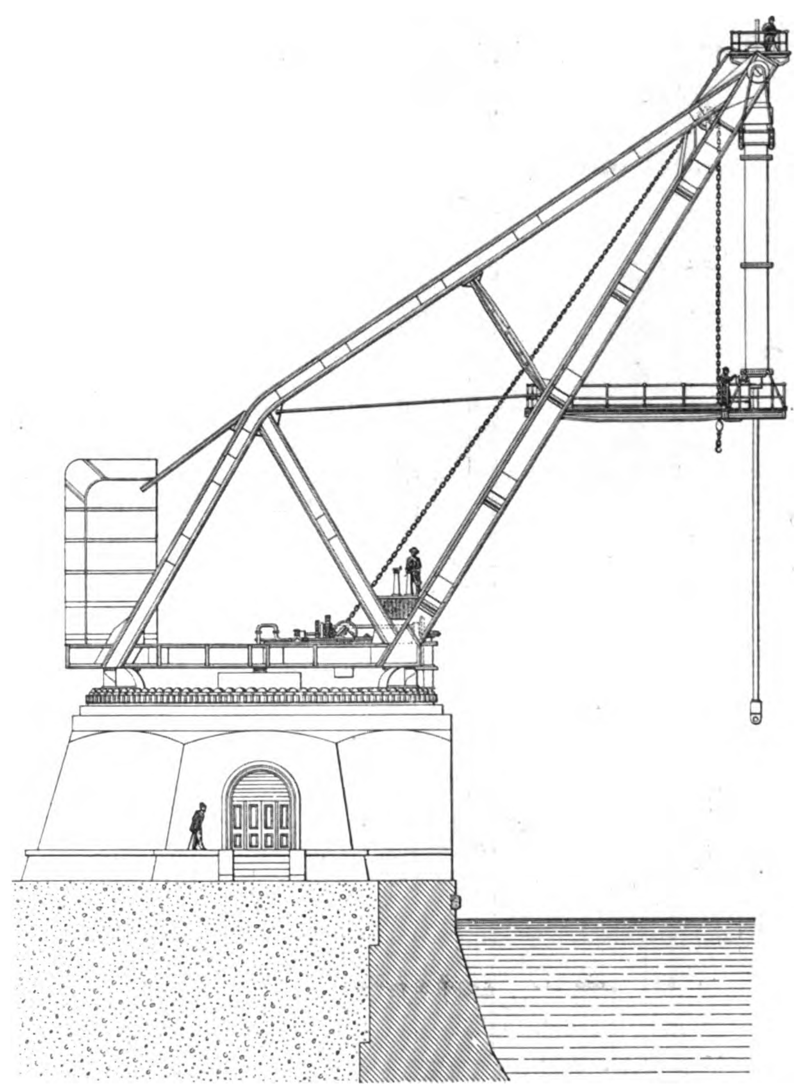
---

*) Vielleicht, nach Wiebeking, schon Ende des 13ten Jahrhunderts; mit Sicherheit ist die Schleuse Mitte des 15ten Jahrhunderts nachzuweisen (Brockhaus).

Für die zeitweilige Ausübung von Kräften zum Heben und Senken von Lasten eignen sich die Fludhemmwerke, die aus

Fig. 558

Grosser Kran im Hafen von Spezzia



Hochdruckhaltungen gespeist werden, sehr gut. Ein Pressluft-hemmwerk wurde oben, S. 518, vorgeführt. Armstrong hat die

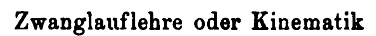
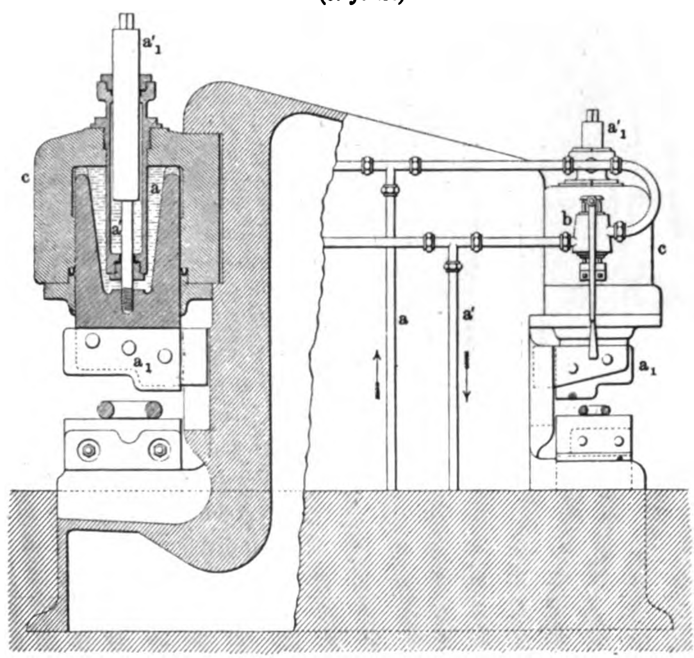


Fig. 559
Schleusenthor-Betrieb
(s. S. 620)

Wasserhemmwerke in der Form seiner, jetzt sehr verbreiteten Wasserkrane mit dem grössten Erfolge in die Reihe der Ladevorrichtungen eingeführt.

3. Beispiel. Einen mächtigen, von dem Hause Armstrong, Mitchell & Cie gebauten Wasserkran stellt Fig. 558 (a. S. 617) dar. Er ist im Arsenal von Spezzia errichtet und hebt 160 t bis auf 12,2 m. Ausladung von der Drehzapfenmitte aus 19,8 m, Höhe über der Werftfläche 32 m. Kleine Lasten

Fig. 560
Tweddell'sche Scheere
(s. f. S.)



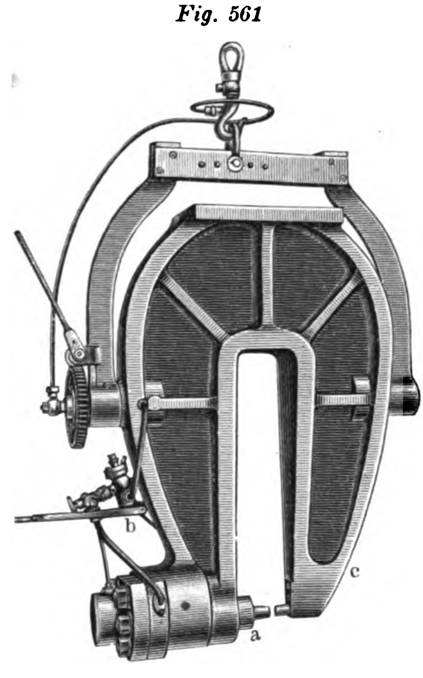
werden mittelst einer Kettenwinde gehoben, die von einer Wassersäulenmaschine getrieben wird; dieselbe Maschine dient auch zum Schwenken des Krans).*

Die Personenaufzüge, deren Anwendung fortwährend in der Zunahme begriffen ist, werden ausserordentlich häufig durch Wasserhemmwerke von Hochdruckhaltungen aus betrieben, und zwar sowohl unter Benutzung von Scheibenkolben, wie in dem soeben besprochenen Kran, als auch von Tauchkolben, beides

*) S. H. Robinson, Hydraulic power and hydraulic machinery, London 1887, S. 127. Armstrongs gewöhnliche Wasserkrane sind so vielfach beschrieben, dass eine erneute Darstellung erlässlich erscheint.

ohne und mit Einschaltung von Flaschenzügen. — Auch für Ausübung anderer als Lasthebungskräfte dienen Wasserhemmwerke.

Fig. 561



4. Beispiel. Die Drehthore grosser Kammerschleusen erfordern mächtige Kräfte zu ihrer Bewegung. Ein dazu dienendes zweifaches Wasserhemmwerk stellt die Fig. 559) (a. S. 618) dar. Die Weite des Schleuseneingangs beträgt 80′ engl. oder 24,4 m. Das eine der Hemmwerke, die beide mit umgekehrten Flaschenzügen wirken, dient zum Oeffnen, das andere zum Schliessen des Thores, d. i. also — man übersehe das nicht — eines mächtigen Ventiles. Der Zug in der, den Thorflügel fassenden Kette beträgt rund 10 t. Zeit zum Bewegen eines Flügels $1^1/_2$ Minuten. Für jeden der vier Flügel ist ein doppeltes Hemmwerk wie das dargestellte vorhanden.*

Zahlreiche Anwendungen der Wasserhemmwerke sind in die Maschinenwerkstätte eingedrungen, namentlich durch das Verdienst Tweddells, der in ausgezeichneter Weise die Bearbeitung schwerer Bleche, auch Winkel- und Rundeisenstäbe dem Hämmern entzogen und der fast geräuschlosen Hemmwerkbearbeitung unterworfen hat.

*5. Beispiel. Fig. 560 (a. v. S.) stellt eine Tweddell'sche Rundeisenscheere zum Zerschneiden schwerer Kettenglieder dar. Das Druckwasser a wird einem Hochdruckhalter von 133 at Spannung entnommen und mittelst des Sperrers b, des Steuerungsventiles, ein- und ausgelassen. Der Rückführungskolben a_1' ist stets mit der Haltung in Verkehr und hebt deshalb, wenn die Spannung in der Drucksäule a auf den Atmosphärendruck des Stranges a′ herabgesetzt wird, den Kolben a_1 in die Höhe. Die Scheerenschneide ist abgetreppt, um zuerst den einen, dann den andern Schenkel des Kettengliedes treffen zu lassen**).*

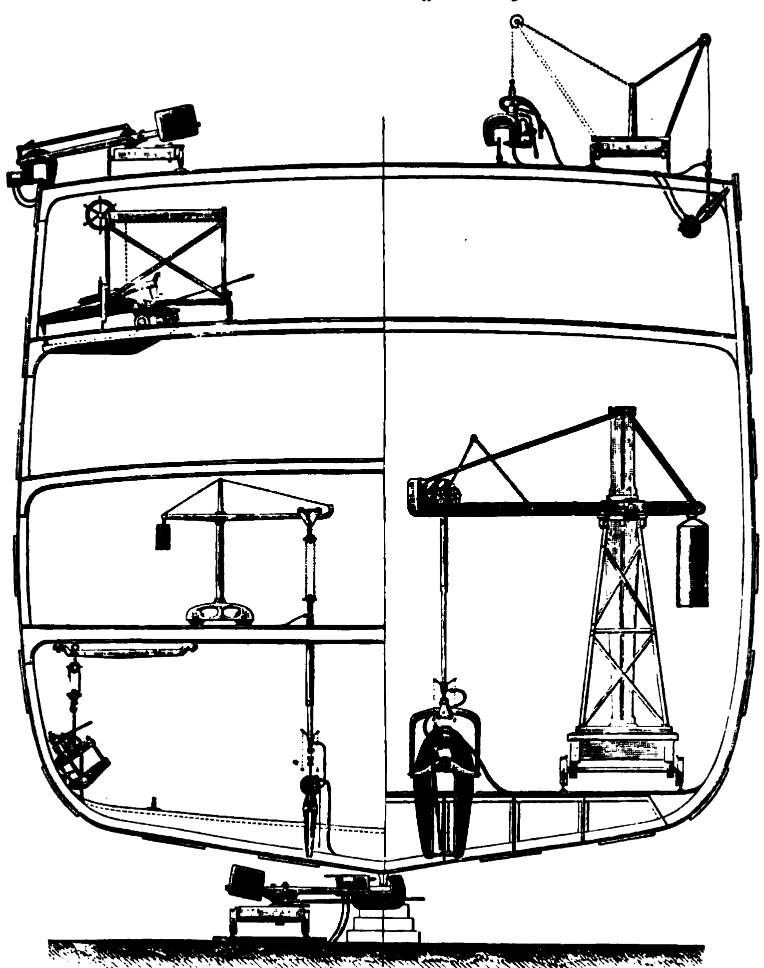
6. Beispiel. Einen Wasserdrucknieter der vorliegenden Hemmwerkbauart zeigt Fig. 561. Das Gestell c ist leicht drehbar aufgehängt; dünne

*) Nach Robinson a. a. O. S. 135.

**) Eine Tweddell'sche Durchbruch- oder Lochmaschine aus Wasser-Hemmwerk s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 920; die Ventile sind dabei näher dargestellt.

Kupferröhren leiten das hochgespannte Betriebwasser zu. Fig. 562 zeigt, wie dieser Nieter im heutigen Schiffbau Verwendung findet und das polternde ältere Verfahren durch ein leiseres und zugleich weit schnelleres ersetzt

Fig. 562
Nietmaschinen im Schiffbau angewandt



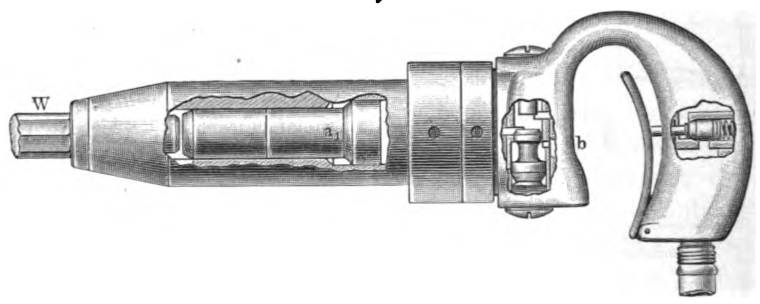
hat. Diese neuere Arbeitsweise trägt nicht wenig dazu bei, die Fertigstellung des Schiffsrumpfes zu beschleunigen. Auch im Lokomotivbau hat der Wasserdrucknieter sich bewährt; im amerikanischen Lokomotivkessel-Bau wendet man bewegliche Nieter wie der dargestellte, aber mit 17′ oder 5,18 m Gabeltiefe an; demzufolge kann man den Kessel von der Rauchkiste bis zur Feuerbüchse mit dem Nieter in Rand- wie Längsnäthen fertig stellen.

Wird statt des Presswassers Pressluft angewandt, so erhält man sehr brauchbare Lufthemmwerke. Die rasche Entwicklung der Pressluftverwerthung hat schon eine ganze Anzahl solcher Hemmwerke in die Werkstätten eingeführt; auf Einiges sei etwas näher hingewiesen. Der in den beiden vorigen Beispielen vorkommende Rückführungskolben a_1' bietet die günstige Möglichkeit, durch blosses Bewegen des Ventiles b einen Vor- und Rückschub herbeizuführen. Ja noch mehr. Gestaltet man die Ventilvorrichtung selbst als Hemmwerkchen, vermöge ringförmiger Einschnitte und Auskerbungen des Gehäuses c, so kann ein schnelles Spiel des Kolbens $a_1\,a_1'$ durch blosses Oeffnen des Zulassventiles erzielt werden.

7. Beispiel. Solches geschieht in dem Faust-Lufthammer, auch Chouteau'scher Hammer genannt, den Fig. 563 darstellt und der nach dem Gesagten ein Hemmwerk zweiter Ordnung ist). Man erzielt mit demselben*

Fig. 563

Faust-Lufthammer



bei angemessener Spannung der Pressluft Schlagzahlen bis zu 40 in der Sekunde; folgende Zahlenreihe gibt das Nähere an.

Nummer	Gewicht		Kolbendurchmesser	Hub	Schläge
	mit Meissel kg	ohne Meissel kg	mm	mm	minutlich
0	6,70	5,55	27	127	800
1	5,25	4,65	27	101	1200
2	4,64	4,10	27	76	1800
3	4,45	3,90	27	45	2400

*) Derselbe wird von Verschiedenen ausgeführt, so von der Metallic Packing Company in Philadelphia, von der Chicago Pneumatic Tool Company, von Woltencroft Sons & Cie in Philadelphia, von Haeseler & Cie in Philadelphia usw., zu beziehen durch Schuchardt & Schütte, Berlin.

Der neueste noch kleinere Hammer für Stein- und Ciselirarbeiten macht 5000 Schläge minutlich.

Das von den Schlägen getroffene Werkzeug dient, je nach seiner Gestaltung, zum Stemmen von Nietnäthen, zum Börteln von Heizröhren, zum Abmeisseln von Metall, Stein und andern Stoffen und zu ähnlichen Arbeiten. Schwerere Lufthämmer werden für zweihändigen Betrieb eingerichtet, wobei der Griff Krückenform bekommt; dieser Krückhammer ist jetzt fast mehr im Gebrauch, als der Fausthammer, namentlich für das Stemmen der Nietköpfe, wofür der Fausthammer sich als zu leicht erwiesen hat. Der Krückhammer arbeitet übrigens mit schwer ertragbarem, dumpf donnerndem Geräusch.

Gehen wir nun zum Dampf als Betriebsflud über, so erkennen wir, dass der Dampfhammer, dessen Einführung wesentlich Nasmyths Verdienst ist, ein Dampfhemmwerk zum Heben und Fallenlassen eines Fallklotzes vorstellt. Anfangs war es nur ein einfaches Hemmwerk, wie es bei der Dampframme noch ist, später wurde es ein zweifaches durch Anwendung des sog. Oberdampfes. Der Dampfhammer hat allerlei Abwandlungen durchlaufen; eine kinematische war die Paarumkehrung, vermöge deren der anfänglich bewegliche „Kolben“ zum Aufstellungsglied, der „Cylinder“ zum beweglichen gemacht wurde (s. Band I, S. 98). Nebenbei bemerkt ist dies wieder ein Wink, die strengere Auffassung dessen, was technisch ein Kolben heisst, was wir S. 272 besprachen, nicht aus den Augen zu verlieren. Bemerkenswerth ist, dass man bezüglich der Steuerung des Dampfhammers wesentlich zum Betrieb der Ventile von Hand zurückgekehrt ist, dass man von Hand die Steuerung so leitet, dass der Bär hoch oder niedrig falle, hart oder sanfter schlage; das „unregelmäſsige Schreiten“ von S. 612 liegt klar zu Tage.

Nachdem der Dampfhammer sich, entsprechend den fortwährend steigenden Ansprüchen der Eisenindustrie, mächtig entwickelt hatte, bei Krupp und dessen Befolgern bis zu 1000 Zentner Bärgewicht, erstand ihm ein Wettbewerb durch die Schmiedepresse, die durch Haswell anfangs der 60er Jahre eingeführt wurde. Diese hat jetzt den Dampfhammer an verschiedenen wichtigen Punkten überholt und verdrängt; sie ist besonders in Deutschland zu hoher Ausbildung gebracht worden.

8. Beispiel. Fig. 564 (a. f. S.) ist eine schematische Darstellung der Bauart, die ihr Breuer, Schumacher & Cie in Kalk gegeben haben. Diese bewährte Schmiedepresse besteht aus sechs Fludgetrieben, nämlich zwei Haltungen, die eine für Dampf, die andere für Wasser, drei Hemmwerken und einem Wasserhebel. I Dampfhemmwerk, gespeist aus Haltung VI, II.III Wasser-

hebel mit dem Uebersetzungsverhältniss 1:16, III Wasserhemmwerk, gespeisst aus V, einem offenen Behälter, IV Dampfhemmwerk zum Heben des Bärs. Die Steuerung b_1 b_2 wirkt bei ihrer Handhabung so, dass das Hemmwerk IV den Bär hebt (worauf das Werkstück untergeschoben wird), darauf

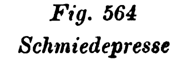
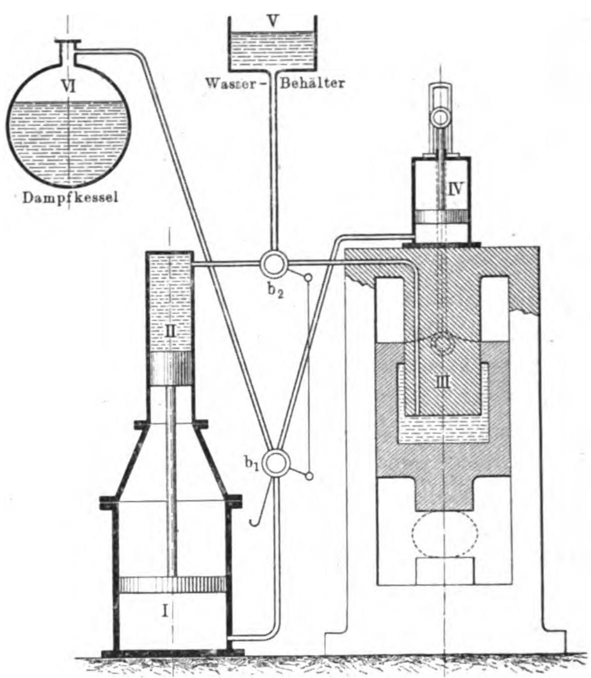


Fig. 564

Schmiedepresse



Hemmwerk V.III den Bär aufsetzt und sodann I.II.III den Bär niederpressen, und zwar mit einem Druck von 1800 bis 2000 t. Die Maschine arbeitet sehr schnell; es geschehen nämlich 30 bis 35 Pressungen minutlich).*

Es sei noch erwähnt, dass das Kolbenhemmwerk auch als Flüssigkeitsmesser dienen kann, ganz ähnlich wie oben (S. 493) die Wasserräder als Luft-, Gas- und Spritmesser. Sehr viel im Gebrauch sind der Kennedy'sche und der Schmid'sche Wassermesser**).

---

*) Die Fabrikanten dieser Presse haben neuerdings zwei mächtige Schmiedepressen, eine für die Dillinger Hüttenwerke, eine andere für das Oburkowskische Stahlwerk in St. Petersburg geliefert, jede für 10000 Tonnen Druck. Kurze Beschreibung Prometheus Nr. 512, 1899.

**) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 969.

Die Beispiele könnten noch bedeutend vermehrt werden, die gegebenen werden aber hier genügen. Sie zeigen, dass eine lange Reihe von wichtigen Maschinen, die das ablaufende halbe Jahrhundert mit bedeutendem Erfolge eingeführt hat, Fludhemmwerke sind. Immer besser wurden sie verstanden, immer besser benutzt; anfangs fehlten die Hochdruckhaltungen für Wasser — sie kamen — und für Luft — sie kamen zuletzt; aber auf der ganzen Linie bezeichnet das von der Hand des Führers gesteuerte Hemmwerk die Strasse des Fortschrittes. Beachtenswerth ist dabei, dass die Hemmwerksarbeit dem Maschinenbau mildere Formen zugeführt hat. Der getösevolle Betrieb der Hammer- und Kesselschmieden und Schiffbauwerfte ist bei Anwendung der Wasser- und Luft-Nieter mehr und mehr einer ruhigen, nicht mehr „Gewalt“ brauchenden, sondern die sichere Bezwingung ruhig durchführenden Arbeitsweise gewichen, wobei die Schnelligkeit der Herstellung nur zugenommen hat; das Meiste aber dabei hat das Hemmwerk geleistet.

§. 98

Periodisch schreitende Hemmwerke

Schon früh hat man periodisch schreitende Hemmwerke in den Uhren, lange bevor diese selbst Hemmwerke waren (s. folg. §.), verwirklicht, und zwar nicht nur in den Schlagwerken, sondern auch in allerlei künstlichem Figurenspiel, das bei bestimmten Stundenangaben in Gang gerieth. Bis heute sind solche sog. Männleinlaufen beim grossen Publikum beliebt geblieben; auf der Chicagoer Ausstellung 1893 hatte Deutschland ein solches Werk zur Schau gestellt, ein weit reicheres wird es zur Pariser Ausstellung im nächsten Jahr senden. Nur von den Schlagwerken sei Einiges hier hervorgehoben.

Bei diesen erstreckt sich die Periode über einen Umgang des Stundenrades und hat in der Regel mit Rücksicht auf die Schlägezahl den folgenden Verlauf der Hemmweiten:

1, 1, 1, 2, 1, 3, 1, 4 . . . . 1, 12,

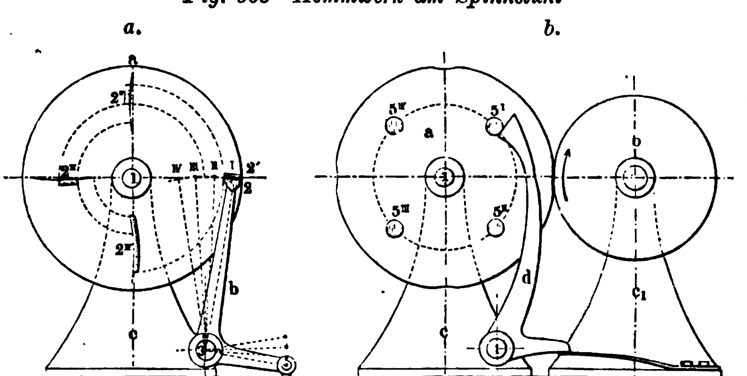
90 Schläge umfassend. Dem Schlagwerk der Uhr gibt man seine eigne Betriebsvorrichtung. Vermöge eines, in dieser angebrachten Gangreglers, des Windflügels, werden die Hemmzeiten den Hemmweiten angepasst, d. h. ihnen proportional gemacht. Zwei Bauarten des Schlagwerks, die deutsche und die engliche, sind vor-

wiegend im Gebrauch. Das englische Schlagwerk wiederholt bei Auslösung durch die Hand die Schlagzeichen. Bei beiden Bauarten ist die eigentliche Schlagvorrichtung ein Spannwerk*).

Anwendungen von grosser industrieller Wichtigkeit finden die periodischen Hemmwerke bei den Selbstspinnern in den Umsteuerungsgetrieben dieser wichtigen Maschinen.

Beispiel. Die betreffende Einrichtung aus dem Platt'schen Spinnstuhl sei hier in Kürze vorgeführt. In Fig. 565 ist 1 die Steuerwelle, die nach vier, verschieden langen Zeitabschnitten sehr rasch je um 90°

Fig. 565 Hemmwerk am Spinnstuhl



*gedreht werden soll. abc Hemmwerk, daran a Steigrad mit vier konaxialen Zahnringen (vergl. Fig. 507) mit je nur einem Zahn. Angetrieben wird das Steigrad a zunächst durch ein Spannwerk adc mit Federdruck, siehe Fig. b, die einen Fortsatz des Steigrades a darstellt. Nachdem aber Auslösung durch Klinke b stattgefunden, und das bei 5' antreibende Spannwerk nur durch einen kleinen Weg gewirkt hat, greift das fortwährend laufende Reibrad b an a ein und treibt dieses um eine Viertelsdrehung weiter, gegen den Schluss derselben die Klinke d wieder spannend. Die an den Quadranten-Endpunkten angebrachten Ausschnitte im Radumfang von a lassen daselbst die Reibradwirkung jedesmal endigen**). Deutlich zeigt sich hier, dass nicht bloss, wie bei den Uhren geschieht, eine Haltung (aufgezogenes Gewicht), sondern auch ein im Gang befindliches Laufwerk die Betriebskraft für ein Hemmwerk liefern kann.*

Die Auslösungen und Hemmungen finden bei 2 in der Reihenfolge

I II, II III, III IV, IV I

---

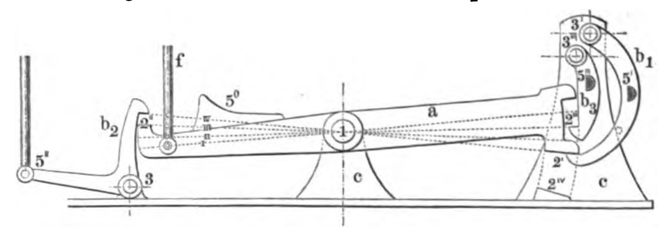
*) Näheres u. a. bei Rühlmann, Allg. Masch.-Lehre Band I, Redtenbacher, Bewegungsmechanismen, Denison, Clocks and Watches (London 1860).

**) Schöne Modelle im kinematischen Kabinet der Techn. Hochschule zu Berlin, woran gezeigt werden kann, wie in einem kleinen Bruchtheil einer Sekunde die Umstellung vor sich geht.



statt. Herbeigeführt werden sie durch ein zweites Hemmwerk, das in Fig. 566 dargestellt ist. Die zur Klinke b führende Stange f wird sprungweis bewegt durch den Hebel a, der ein Ausschnitt aus einem Steigrad ist, weshalb wir ihn Steighebel zu nennen haben. Die Hemmung desselben ist aus Theilgesperre, und zwar Viertelsgesperre (vergl. S. 569) gebildet. b_1, b_2, b_3 *und Anschlag an c sind Sperrklinken, sperrend bei* 2^I, 2^{II}, 2^{III} *und*

Fig. 566 Zweites Hemmwerk am Spinnstuhl



2^{IV}. *Die Auslösungen werden herbeigeführt durch den Spinnwagen, der seinerseits eine Hauptperiode durchläuft, während deren er die folgenden vier Unterperioden durchmacht:*

1.	*Periode, Ausfahrt und Herausspinnen,*	*a wird gesperrt bei*	2^I,
2.	„ *Nachstrecken und Nachdrehung,*	„ „ „ „	2^{II},
3.	„ *Abschlagen des gesponnenen Fadens,*	„ „ „ „	2^{III},
4.	„ *Aufwinden und Einfahrt,*	„ „ „ „	2^{IV}.

Der Gang ist folgender. Bei Beendigung der ersten Periode trifft ein Vorstoss des Spinnwagens bei 5' die Klinke b_1 *und rückt sie aus, worauf der einseitig schwere Steighebel aus Stellung I in Stellung II übergeht und von Klinke* b_2 *gehemmt wird. Dabei hat die Klinke* b_2 *mittelst Stange f die Klinke b des vorigen Hemmwerkes nach 3 II verlegt und damit die zweite Periode eingeleitet.*

An deren Schluss wird durch das Zählwerk des Spinnstuhls (ein stellbares Schaltwerk) die Klinke b_2 *ausgelöst, worauf der Steighebel in die Stellung III fällt und die Klinke b nach 3 III verstellt, selbst aber bei 2''' gehemmt wird.*

Die Verstellung nach 3 III hat die dritte Periode eingeleitet, die damit endet, dass vom Spinnwagen her die Klinke b_3 *durch Anstoss bei 5''' gelöst wird, worauf der Steighebel in die Stellung IV fällt und mittelst Stange f die Hemmklinke b nach 3 IV versetzt.*

In der darauf beginnenden vierten Periode drückt der wieder einfahrende Spinnwagen bei 5⁰ den Steighebel links wieder nieder, spannt also das Spannwerk und rückt dabei mittelst Stange f die Klinke b wieder in ihre Anfangsstellung 3 I).*

Die Hauptperiode des Spinnstuhls haben wir oben, S. 533, bereits behandelt. Zu erwähnen ist noch, dass die bei den Umsteuerungen aus- und eingerückten Kupplungen gemäss S. 574 Sperrwerke sind.

---

*) Näheres bei Stamm, Selfactor, deutsch von Hartig, Leipzig 1862, und Schmidt, Bew.-Mechanismus des Purr-Curtis-Selfactors, Stuttgart 1865.

Zahlreiche Anwendungen finden die periodischen Hemmwerke noch in vielen andern Arbeitsmaschinen, die ihr Werkstück einer Folge von Bearbeitungen unterwerfen.

§. 99

Gleichförmig schreitende Hemmwerke

Am zahlreichsten sind die gleichförmig schreitenden Hemmwerke in den Räderuhren angewandt. In diesen ist als Taktgeber gewöhnlich ein ebenes Pendel benutzt. Zwei Arten desselben wendet der Uhrenbauer soviel wie ausnahmslos an,

das Lothpendel und
das Radpendel.

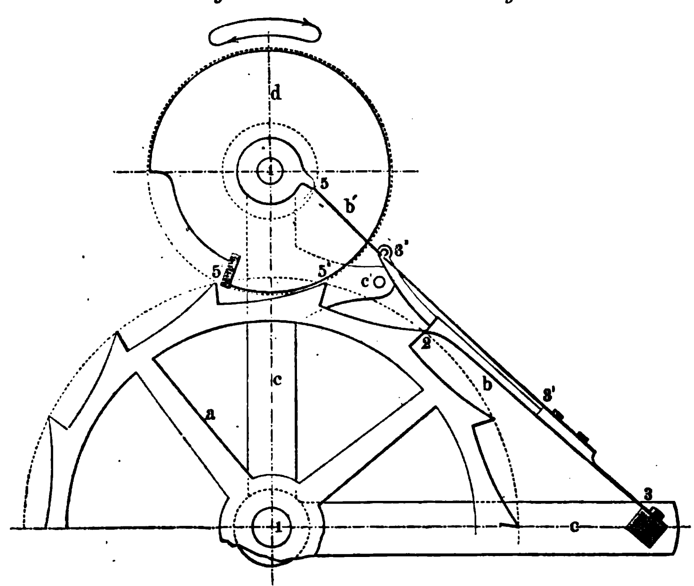
Unter ersterem verstehe ich das in senkrechter Ebene schwingende gewöhnliche Pendel, dessen Schwerpunkt ausserhalb seiner waagerecht gelegenen Schwingungsachse liegt; das andere ist das in beliebiger, auch beweglicher Ebene schwingende Pendel, dessen Schwerpunkt in seiner zur Schwingungsebene rechtwinkligen Drehachse liegt. Beim Lothpendel führt die Schwerkraft die Mittelstellung herbei, beim gebräuchlichen Radpendel eine Feder, die durch das schwingende Gebilde, die Unruh genannt, vor- und rückwärts gebogen wird*). Diese beiden Taktgeber schwingen nahezu zeitengleich bei grösserem wie bei kleinerem Ausschlag. Wenn daher bei einer Uhrhemmung nur die Zeit zur Wiedereinrückung kürzer ist, als die Hemmzeit — um wie viel kürzer, ist nebensächlich —, so ist die wichtigste Aufgabe des Hemmwerkes gelöst. Sie ist, dass in irgend einem grösseren Zeitabschnitt stets dieselbe Anzahl Theilungen vom Sperrrad, hier Steigrad genannt, durchlaufen wird. Dabei mag ein beliebig grösserer oder kleinerer Theil der Betriebsarbeit überschüssig gewesen und als Stoss aufgezehrt worden sein. Diese bemerkenswerthe Eigenschaft der Hemmwerke hat es möglich gemacht, selbst mit sehr unvollkommenen Uhrwerken eine erträgliche Zeitmessung zu erzielen. Dies erklärt die einmüthige Vorliebe, die, von der alten Waaguhr herauf bis heute, in der

*) Beim ältesten Radpendel fehlte die Feder noch; ihre Wirkung wurde durch eine keineswegs einfache des Treibgewichtes einigermafsen ersetzt; bei den ersten Taschenuhren von Peter Henlein (1500) war sie aber schon, und zwar in Form eines Borstenbündelchens, angebracht.

ganzen Welt den Hemmwerkuhren zugewandt ist, und andererseits das Scheitern aller Versuche, die Laufwerkuhr, z. B. die mit dem Kegelpendel, an ihre Stelle zu setzen.

Die Betriebsarbeit wird in den Uhren nur zur Ueberwindung von schädlichen Widerständen, d. i. bloss zum Inganghalten benutzt. Solche Widerstände erfährt aber auch der Taktgeber. Um ihm die daran verlorene lebendige Kraft zu ersetzen, fügt

Fig. 567 Chronometerhemmung



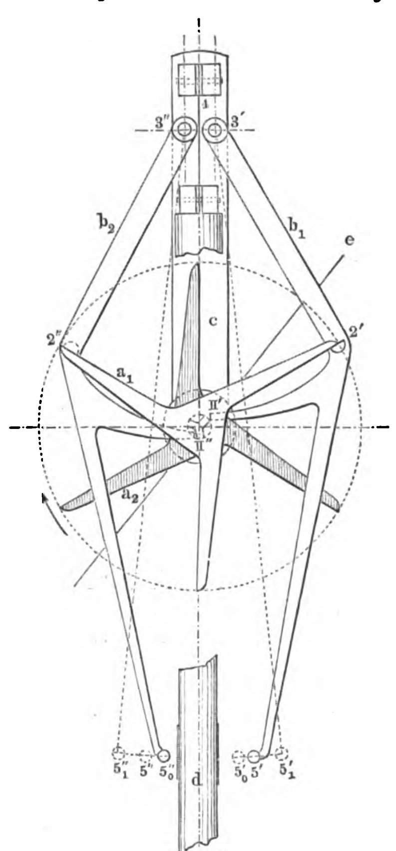
man dem Hemmwerk noch Beschleuniger ein, die den Taktgeber im Schwung halten. Kinematisch unterscheiden sich hiernach die Uhrhemmungen untereinander je nach der Wahl des zu Grunde gelegten Gesperres, des Taktgebers, des Auslösers und des Beschleunigers. Zwei Beispiele seien vorgeführt**).

1. Beispiel. Die sog. freie Chronometerhemmung, Fig. 567, die als die vorzüglichste Hemmung für Seeuhren bekannt ist und gebraucht wird, hat genau die schlichte Einrichtung unsrer obigen Grundanordnung. Das Gelenk 3 der Klinke b ist der Reibungsersparniss wegen als Blattgelenk ausgeführt, s. S. 156. Auslöser ist der Zahn 5 am Radpendel. Er bildet mit dem Kinkenfortsatz b' beim Rechtsschwung laufendes Gesperre, indem

**) Ausführliches im Konstrukteur IV. Aufl. S. 669 ff. Schaumodelle im kinematischen Kabinet der kgl. Techn. Hochschule zu Berlin.

die Klinke b' wiederum mit Blattgelenk bei 3', weit ab von 5, an b angelenkt ist, beim Linksschwung aber bei 3'' gestützt wird und demzufolge die Klinke bei 2 aushebt. In der gezeichneten Stellung lässt die Klinke b den Zahn 2 gerade frei. Alsbald danach sinkt die Klinke bis zum Fangstift c' in die Eingriffsstellung. Das frei gewordene Rad fasst bei 5' die Beschleunigungsschaufel und ertheilt durch sie dem Taktgeber bis 5'' Beschleunigung, worauf sein, jetzt bei 5'' stehender Zahn bei 2 aufgefangen wird. Der Taktgeber vollzieht eine vollständige (Doppel-)Schwingung und erfährt nur eine verschwindend kleine Stosswirkung durch den Beschleuniger.

Fig. 568 Denisons Hemmung



*2. **Beispiel.** Thurmuhrhemmung von Denison, Fig. 568, sogenannte Schwerkrafthemmung, angewandt u. a. an der grossen Westminster-Uhr in London. Taktgeber ist ein Zweisekunden-Lothpendel, das bei 4 am Blattgelenk (von $^5/_{12}$ mm Dicke) schwingt. Das Steigrad hat zwei nebeneinander liegende Zahnkränze, wie das Sperrrad in Fig. 507 c, aber jeder von beiden seine eigene Sperrklinke. Gesperrt ist hier die vordere Radhälfte a_1 bei 2'. Ausgelöst wird sie, sobald das Pendel die Klinke b_1 bei 5' fasst und bis $5_1'$ hebt. Darauf kommt das Rad in Gang und hebt nun mittelst des Zahnes II'' die Klinke b_2 von $5_0''$ bis 5'', sodass Radhälfte a_2 bei 2'' mit halber Zahnflanken-Deckung aufgefangen wird. Zurückschwingend hebt sodann das Pendel die Klinke b_2 von 5'' bis $5_1''$ und löst a_1 aus, worauf Zahn II' die Klinke b_1 von $5_0'$ bis 5' hebt. Die Klinken wirken also beim Sinken länger auf das Pendel als beim Aufsteigen und das gibt die Beschleunigung. Ein Windflügel e, der auf der Steigradachse mit laufendem Gesperre sitzt, verhütet übermässiges Schnellen des Rades bei den ihm freigegebenen Sechstelsdrehungen*). Wir sehen also, dass hier das Steigrad nicht, wie im ersten Falle unmittelbar,*

*) An meinen Modellen habe ich die Aufzugsgesperre sowohl, als auch das soeben erwähnte als „stumme“ Gesperre (s. Konstrukteur S. 612) ausgeführt, sodass das ratschende Geräusch der Klinken wegfällt.

sondern unter Vermittlung, und zwar der Sperrklinken, dem Pendel Beschleunigung ertheilt. — Es sei bemerkt, dass die mittelbare und die unmittelbare Beschleunigung ungefähr gleichoft vorkommen.

Bei den ausgezeichneten Uhrhemmungen von Dr. Riefler*) geschieht die Beschleunigung des Taktgebers ganz neuartig, bei dem Radpendel nämlich durch die Unruhfeder, beim Lothpendel durch die Aufhängefeder, beidemal wenn diese Feder aus ihrer Mittellage, die ohne Biegungsspannung ist, in die benachbarte mit Biegungsspannung behaftete Lage übergeht.

In den Uhrhemmungen haben wir Hemmwerke vor uns, bei denen die Betriebskraft einzig zur Ueberwindung der Bewegungshindernisse benutzt wird und zugleich dies so gleichmäfsig, d. h. in so gleichen Schritten geschieht, dass die Maschine zum Messen der Zeit dienen kann. Etwas ganz Aehnliches fanden wir oben (S. 493) bei den Rädern, die zum Messen von Fluden dienen. Einen eigentlichen Unterschied in der Einrichtung, in der Anlage des Mechanismus, fanden wir nicht vor zwischen den Messungs- und den Kraftmaschinen; nur der Zweck, der mit ganz demselben Mechanismus verfolgt wurde, war in den beiden Fällen nicht derselbe, ja war stark verschieden. Ganz so steht es auch hier. Den Genauigkeitshemmwerken schliessen sich Krafthemmwerke an, und zwar, so gut wie wir oben unregelmäfsig schreitende kraftvolle Hemmwerke in grosser Zahl angewandt fanden, finden wir auch gleichmäfsig schreitende, d. i. solche vor, in denen bei grosser Kraftübertragung die Maschine selbst, so gut wie vorhin die Uhr, ihren regelmäfsig schreitenden Gang ohne Hülfe vollzieht. Durchaus überwiegend sind es wieder die Fludhemmwerke, die sich hier eignen. Einige Beispiele seien besprochen.

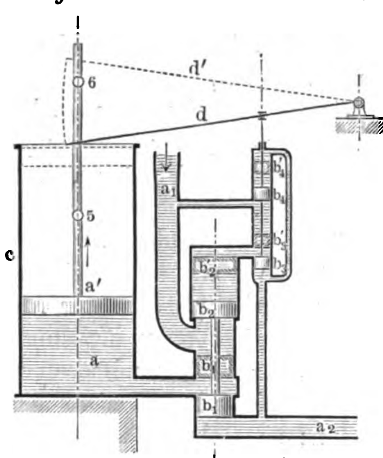
3. Beispiel. Die Reichenbach'sche Wassersäulenmaschine, Fig. 569 (a. f. S.). Wenn man die Aufgabe erhielte, die Kammerschleuse, Fig. 557, so in Gang zu bringen, dass in regelmäfsiger Folge die Kammer aus der oberen Haltung zu füllen und wieder in die untere Haltung zu entleeren wäre, so hätte man die Ventile b_1 und b_2 oder deren Vertreter b_1' und b_2' bei jedem Hubschluss ziemlich gleichzeitig zu bewegen, das eine zu schliessen und das andere zu

---

*) S. Bauer, Hemmungen und Pendel für Präzisionsuhren und die Uhren des Riefler'schen Systems, München 1893, und S. Riefler, die Präzisionsuhren mit vollkommen freiem Echappement und neuem Quecksilber-Compensationspendel, München 1894. Der hervorragende Ingenieur und Fabrikant S. Riefler wurde wegen seiner Verdienste um die Zeitmessung und den Bau mathematischer Instrumente von der Münchener Universität zum Ehrendoktor ernannt.

öffnen und umgekehrt, was dazu führen möchte, die beiden Umlaufventile in seinen Sperrkörper zu vereinigen. Dies ist ein zusammengezogenes Bild dessen, was in der vorliegenden Wassersäulenmaschine verwirklicht worden ist. Das geschah allerdings erst spät, mindestens zwei Jahrhunderte nach der Einführung der Kammerschleuse). Der Uebergang vom weiten Kanalwerk auf eine enge Röhrenvorrichtung war viel zu schwer, um rasch gefasst werden zu können, schwierig auch die selbstthätige Steuerung, die für die Dampfmaschine aber schon eher erfunden ward. Können wir daher nur theoretisch, begrifflich, die erwähnten Zusammenhänge bilden, so dürfen wir doch die Wassersäulenmaschine hierhin und vor die Dampfmaschine stellen, weil die bedeutsame Erfindung des Fludhemmwerkes in der Kammerschleuse so lange vorher schon gemacht worden war.*

Fig. 569 Wassersäulenmaschine



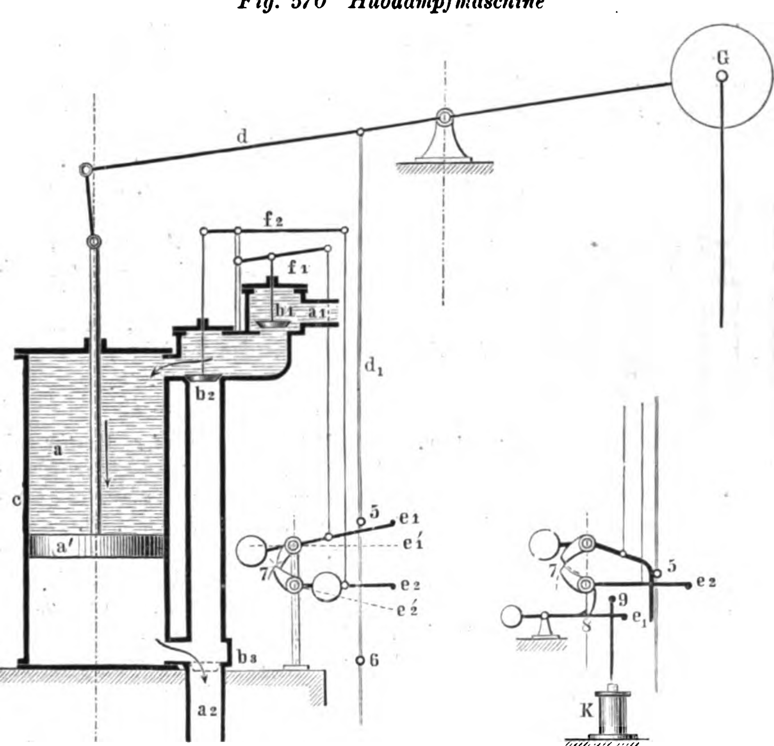
In Reichenbachs Maschine stellt das kolbenförmige Ventil b_1 die in eins zusammengezogenen Sperrer b_1' und b_2' der Kammerschleuse vor. Gesenkt verbindet es den Raum a unter dem Kolben a' mit der Druckwassersäule a_1, gehoben verbindet es ihn mit der Untersäule a_2. Gesteuert wird b_1 durch eine zweite ganz kleine Wassersäulenmaschine, deren Kolben b_2 mit Ventil b_1 fest verbunden ist. Die kleine Maschine wird durch den Hebel d_1 gesteuert, den der Hauptkolben an jedem Ende seines Hubes mittelst der Nocken 5 und 6 verstellt. Das Spiel der Kräfte wird aus den gezeichneten Ventilstellungen klar. Das Hebelwerk 5.6 d_1 bildet für sich einen dritten Trieb, sodass die Maschine als Ganzes in dritter Ordnung arbeitet. Bei den Ausführungen treibt Reichenbachs Maschine mittelst der Kolbenstange wiederum einen Kolben, und zwar den einer Pumpe, d. i., wie wir wissen, ein (Wasser-)Schaltwerk, also einen Sperrtrieb.

4. Beispiel. Einfachwirkende Hubdampfmaschine. In Fig. 570 ist a_1 obere Dampfsäule (aus der Haltung Dampfkessel), a_2 Untersäule, mit der Atmosphäre in Verbindung; die Obersäule wirkt nicht vermöge ihrer Schwere, wie vorhin, sondern vermöge ihrer Spannung. Der Kolben bewegt sich während der Kraftaufnahme nach unten, hebt aber dabei das am Hebel d angebrachte Gewicht G. Die Ventile b_1 und b_2 sind hier nicht fest verbunden wie vorhin, damit sie sich als Hubventile einzeln gut schliessen lassen. Der Hebel d dient hier wie im vorigen Beispiel wohl auch zur

*) Eine Wassersäulenmaschine eignen Entwurfes beschrieb genau und stellte vollständig dar Bélidor in s. Architecture hydraulique 1739, I, S. 298 (s. auch Konstrukteur IV. Aufl. S. 924). Ebenda ist eine 1731 ausgeführte W.-S.-Maschine beschrieben.

Steuerung, muss aber wegen der Kraftübertragung während des ganzen Kolbenhubs im Gang bleiben; deshalb sind die Nocken 5 und 6 an der von ihm geführten Stange d_1 angebracht. Die Ventile b_1 und b_2 werden je durch ein Spannwerk „geöffnet“ (vergl. S. 583), sobald dieses durch einen der Nocken ausgelöst wird. Die Spannwerkklinken wirken gegenseitig. Wenn Kolben a' am untern Hubende anlangt, löst Nock 5 das Ge-

Fig. 570 Hubdampfmaschine

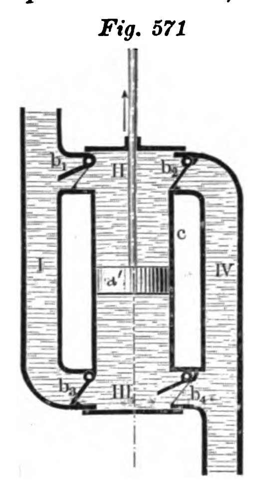


sperre 7 aus, spannt aber damit zugleich das Spannwerk $e_1 f_1$, indem er zugleich das Ventil b_1 schliesst. Vermöge der Auslösung bei 7 öffnet darauf das Spannwerk $e_2 f_2$ das Ventil b_2, das nun den gebrauchten Dampf zunächst unter den Kolben treten lässt und dort denselben Druck wie oben entstehen lässt. Der Kolben steigt und löst beim oberen Hubschlusse mittelst Nockens 6 die Sperrung 7 und damit das Spannwerk $e_1 f_1$ wieder aus, zugleich b_2 schliessend und das zugehörige Spannwerk wieder spannend. Die dargestellte Steuerung ist die Farey'sche. Das Gewicht G dient wieder zum Pumpen-, d. i. Schaltwerkbetrieb. Soll Niederschlagung des Dampfes stattfinden, so wird ein Kondensatorventil b_3, das bei Schliessung von b_2 geöffnet wird, eingeschaltet, ausserdem am Kondensator ein Einspritzhahn, der mit b_3 zusammen geöffnet und geschlossen wird. Will man den Dampf sich

noch dehnen lassen, so wird Hebel e_1 so gestaltet, dass er die Schliessung von b_1 durch den passend gestellten Nock 5 verfrüht, s. Nebenfigur, „Streichhebel". Damit ist aber die Sperrung bei 7 zur Unzeit gelöst; f_2 muss deshalb von einer zweiten Sperrung 8 gehalten werden, die entweder beim Hubschluss durch die Steuerstange, oder, wie sehr gebräuchlich, nach einer Hubpause durch das langsam ablaufende Spannwerk K, den sog. Katarakt, mittelst des Nockens 9 gelöst wird. — Abgesehen von dem Hebelgetriebe $d\,d_1$.. besteht die vorliegende Maschine nur aus Sperrtrieben.

5. *Beispiel. Ein doppeltwirkendes Fludhemmwerk erfordert vier Sperrer oder Ventile; nur müssen diese gesteuert werden, während sie, wenn als Hubventile wie in Fig. 571 gestaltet, ohne weiteres dienen könnten, wofern die Maschine als Schaltwerk, also als Pumpe wirken sollte. Soll sie als Hemmwerk gebraucht werden, so wäre der linksgelegene Kanal I derjenige der Drucksäule, der rechtsgelegene IV der der Abflusssäule, und die Kolbenbewegung fände entgegen der Pfeilrichtung statt. Die Steuerungsvorrichtung hat dann, wofern das Flud tropfbar flüssig ist, die Räume I bis IV abwechselnd in den Verkehr*

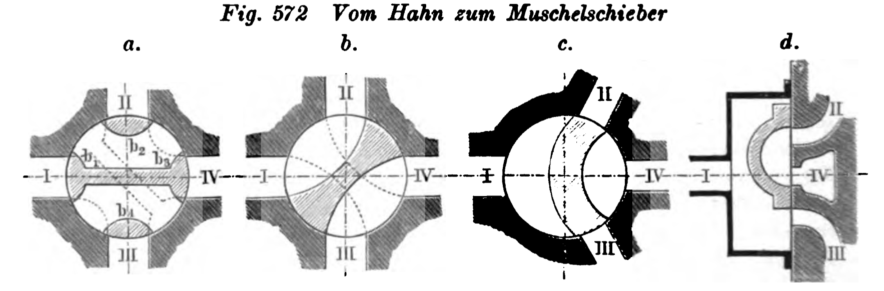
Fig. 571



I—II und III—IV,
oder I—III „ II—IV

zu setzen. Gestaltet man die vier Ventile als Gleitungsventile, so können sie wegen dieser Gleichseitigkeit ihrer Bewegungen zu einem einzigen Bautheil vereinigt werden. Dies kann z. B. so geschehen, wie Fig. 572 unter a zeigt; sie bilden dann vier Stege in einem Hahn, einem sog. Vierweghahn. Wie der Schlüssel gezeichnet ist, verschliesst er alle vier Wege, was den Endstellungen des Kolbens entspricht. Dreht man ihn um 45° nach rechts, so verbindet er I mit III und II mit IV; dreht man ihn ebenso weit nach

Fig. 572 Vom Hahn zum Muschelschieber

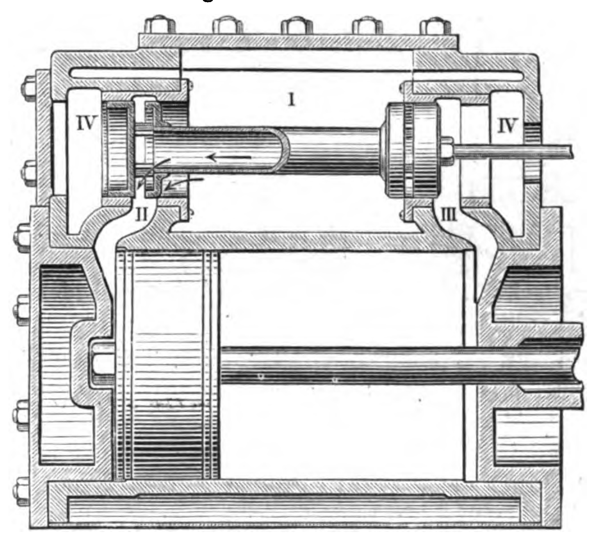


links, so verbindet er I mit II und III mit IV. Die Stege b_2 und b_4 können nun aber auch weggelassen werden, ohne dass diese Wirkung aufhört, s. unter b, die Kanäle II, III und IV auch näher zusammengelegt werden, wie unter c. Dann aber wird die Gleitfläche dicht neben I auch überflüssig, und es kann ausserdem der Krümmungshalbmesser der übrig

gebliebenen Gleitfläche beliebig gross, ja unendlich gross gemacht werden, wie unter d. Diese letztere, so überaus schlichte Form der in eins verschmolzenen vier Ventile führt den bekannten Namen „Muschelschieber".

Der Muschelschieber ist von Murdock in der Wattischen Maschinenfabrik vor nunmehr hundert Jahren zuerst ausgeführt worden. Der Weg zu ihm war nicht so geradlinig wie der in unsrer Figur; Watts D-Schieber, s. Fig. 575, lag breit dazwischen, auch fehlte dem Muschelschieber die Entlastung, die der D-Schieber

Fig. 573 Kolbenschieber



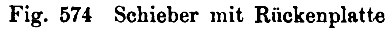
besass. Dennoch hat er sich eine Anwendbarkeit ersten Ranges erworben und diese auch für zahlreiche Fälle beibehalten, da man ihm bald durch geeignete Annahme der Stegbreiten noch die Eigenschaft verlieh, den Fludzutritt vor Hubschluss zu sperren, d. h. die in ihm enthaltenen Ventile verschiedenzeitig wirken zu lassen*). Zu seiner Entlastung ist man übrigens in verschiedenen Formen wieder zurückgekehrt, neuerdings eifriger als sonst, z. B. in der Form des Kolbenschiebers, s. Fig. 573; hier ist noch die durch Trick eingeführte Kanaltheilung vortheilhaft benutzt**). Eine andere Entlastungsweise zeigt Fig. 574 (a. f. S.), angewandt bei den vorzüglichen Dampfmaschinen der Weston Engine Company in Neuyork, deren Steuerungsregler S. 172 dargestellt ist.

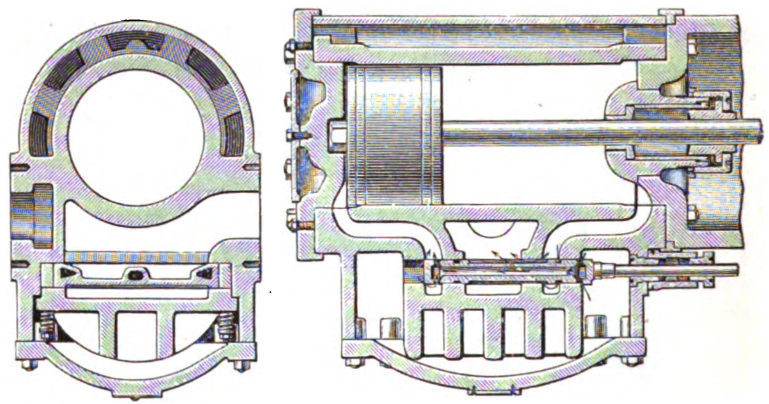
---

*) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 1134 ff.

**) S. Weisbachs Ingenieur VII. Aufl. S. 869 u. Konstrukteur S. 1141.

An die Vierheit der Ventile wurde man wieder entschieden erinnert, als er in der Corliss'schen und verwandten Dampfmaschinen wieder in die vier Einzelventile, sei es Hub-, sei es Gleitventile, zerlegt wurde, wie ja einstweilen bei den Landdampfmaschinen der Brauch geblieben ist*).


Fig. 574 Schieber mit Rückenplatte



Es braucht nur angedeutet zu werden, dass Hemmwerke mit Pressluftbetrieb, den man aus einer Presslufthaltung und -leitung gewinnt, bereits vielfach angewandt sind. Es wird jetzt erwogen, ob man vielleicht die nach Lindes Verfahren erzielte flüssige Luft als Haltung für Pressluftbetrieb benutzen könne.

Als das Hemmwerk Dampfmaschine am Schluss des 17ten Jahrhunderts durch Papin erfunden und von ihm in Marburg und Kassel in ihren frühesten Formen ausgeführt wurde, erhoffte der Erfinder dessen allgemeine Anwendbarkeit, versuchte auch, es alsbald zum Ruderradbetrieb zu verwenden; dennoch blieb die Maschine, als sie dann in England weiter gebildet, vor allem mit einer Steuerung versehen wurde, zunächst an Pumpenbetrieb, d. i. geradlinigen Schaltwerkbetrieb, gebunden und leistete auch dadurch für den Bergwerksbetrieb Grosses; sie machte aber weniger

---

*) Nicht günstig für das Verständniss der sich Heranbildenden ist es, dass man die Hubventilsteuerungen „Ventilsteuerungen“ nennt und die übrigen mit dem Namen „Schiebersteuerungen“ abfindet, obwohl man Corlissens schwingende Gleitventile nicht mit vollem Vertrauen Schieber nennt. Dazu noch das Wort „Drehschieber“! wo doch „schieben“ und „drehen“ etwas Gegensätzliches bedeuten. Und alles das steht unter dem unklaren Haupttitel „Ventil“, vergl. S. 484.

Aufsehen, als man heute glauben möchte, da sie nur auf einem eng begrenzten Gebiet gebraucht ward. Das gieng so bis gegen 1775, wo die Bestrebungen, die blossen Hubbewegungen in Drehbewegungen umzusetzen, gelangen. Zuerst hatte man es mit Schaltwerken nach Art desjenigen in Fig. 537 versucht; und welcher heutige Ingenieur erinnert sich nicht, dass auch Langens „atmosphärische" Gaskraftmaschine damit begann? Man kam endlich auf den Schubkurbeltrieb $(C_3'' P^{\perp})\frac{d}{c}$, den wir §. 60 besprochen haben; aber man kam dazu keineswegs planmäfsig, sondern probirenderweis. Dieser Kurbeltrieb, verbunden mit der so wichtigen Krafthaltung Schwungrad, war längst bekannt*); dass Wasbrough ihn Watt entwendet habe, ist völlig ins Reich der Aufregung bezweckenden Fabeln zu verweisen. Man musste sich damals nur erst durcharbeiten zur Einfachheit und namentlich zur begrifflichen Loslösung schon vorhandener Mechanismen von ihren alten Anwendungen, mit denen sie verwachsen schienen, vergl. Bd. I, S. 11. Viele Mechanismen, die heute grossen Klassen angehören, mussten einzeln erst ersonnen werden, wie z. B. die Gelenkgeradführungen, der zum Ventilbetrieb dienende Kurbeltrieb $(C_4'')\frac{d}{a}$, der sehr viel Mühe machte, der Gangregler usw. Lehrreich ist es, heute die Wattische Dampfmaschine, die ja immerhin ein Bild unsrer heutigen einfachen Dampfmaschine mit Niederschlagung (Kondensation) ist, auf der Unterlage unsrer getrieblichen Analyse, §. 39, und unsrer Trieb-Eintheilung, §. 54, zu betrachten. Wir kommen dabei zur nachstehenden Darstellung **).

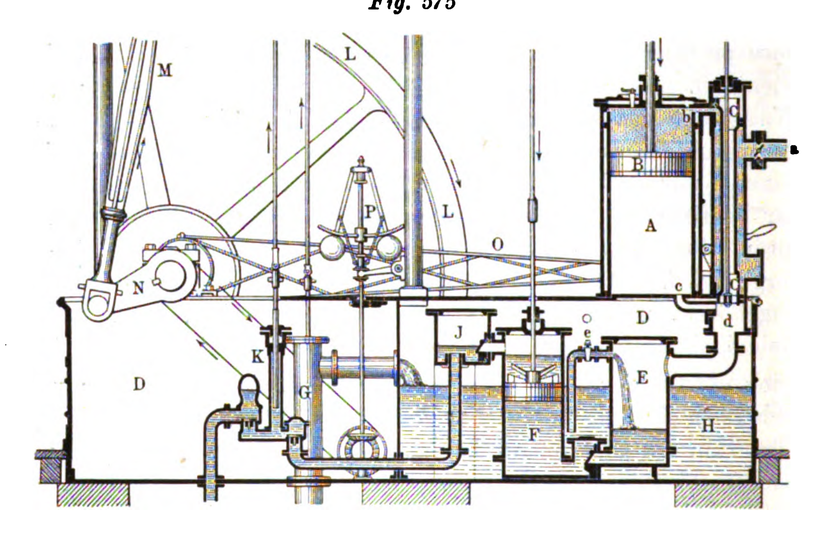
Wir erkennen in Cylinder A, Kolben B und Schieber C, Fig. 575 (a. f. S.), das eigentliche Fludhemmwerk, dem von a her aus der Haltung Dampfkessel das Betriebsflud Dampf zuströmt, dessen Ein- und Auswege b und c sind. Die rechte Hälfte des kastenförmigen Unterbaues D bildet eine Haltung H für das Kühlwasser, dessen Vorrath durch ein Schaltwerk, die Kaltwasserpumpe G, stets wieder ergänzt wird. Aus dieser Haltung wird eine andere, die Tiefdruckhaltung E, genannt Kondensator, mit Wasser versorgt, das durch den Einspritzhahn e, ein ruhendes Fludgesperre, fortwährend zutritt und den, absatzweis aus dem Abweg d kommenden

*) Nicht nur zu Watts Zeiten vom Scheerenschleifer her, sondern er ist schon dargestellt bei Böckler, Theatr. machinarum novum, Nürnberg 1661, Tafel 122, aber auch schon bei Strada à Rosberg, Kunstliche Abriss, Frankfurt am Mayn 1617, sogar achtmal, einmännisch wie zweimännisch, dann auch bei Zeising, Theatr. machinarum, Leipzig 1612, Theil III, S. 11.

**) S. des Verfassers kurzgefasste Gesch. der Dampfmaschine, II. Aufl., Braunschweig 1891, S. 47 ff.

Abdampf niederschlägt. Ein zweites Schaltwerk, die „Luftpumpe“ F, entzieht der Tiefdruckhaltung E das Einspritz- und Niederschlagswasser, sowie die demselben beigemengte Luft. J ist eine kleine Hülfshaltung (von Watt „Heissbrunnen“ genannt), in die die Luftpumpe ausgiesst; aus ihr fliesst die Hauptmasse des Wassers frei durch ein Rohr ab, ein kleiner Theil aber wird durch ein drittes Schaltwerk, die Speisepumpe K, abgezogen und zur Brindley'schen Haltung) über dem Dampfkessel zurückgeschafft, durchschnittlich in der Menge, in der das Wasser in Dampfform durch a zur Maschine gelangt war. L ist die Krafthaltung „Schwung-*

Fig. 575



rad“, das seine Drehung vom Waagbaum (Balancier) zugeleitet bekommt; genauer gesprochen geschieht diese Uebertragung durch einen (höheren) Kurbeltrieb $(C_3'' P\perp)\frac{c}{a}$, *verbunden mit einem zweiten* $(C_4'')\frac{d}{c}$, *Baum, Koppel M und Kurbel N. O ist Gestänge zum Schiebertrieb, der aus* $(C_4'')\frac{d}{a}$ *und abermals* $(C_3'' P\perp)\frac{d}{a}$ *gebildet ist. In P sehen wir als weitere Haltung, und zwar Krafthaltung, den Gangregler (den Watt nicht etwa Regulator, sondern „Hubstrecker“ nannte), der mittelst Kurbeltriebs* $(C_2'' P_2\perp)\frac{d}{c}$ *und* $(C_4'')\frac{d}{a}$ *auf die bei a gelegene Einlassklappe, ein ruhendes Fludgesperre, einwirkt, selbst aber durch einen Riemen- und einen Zahnrädertrieb gedreht wird. Die drei Pumpen werden jede durch einen Kurbeltrieb, in dem der Waagbaum das treibende Glied ist, betrieben.*

Die Haltung „Dampfkessel“ ist mitzuzählen. Wir sehen nun, dass das Ganze, als Einheit kinematisch betrachtet, folgende Triebe einschliesst: 1 Hemmwerk für Dampf als Hauptsache, sodann 7 Haltungen, nämlich 1 für Dampf, 4 für Wasser, 2 für lebendige Kraft, ferner 3 Schaltwerke für

*) Ueber den Brindley'schen Speiser s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 922

Wasser bezw. Luft, nicht weniger als 9 Kurbeltriebe, und 1 Riemen- und 1 Rädertrieb für den Gangregler. Das sind zusammen genommen 22 Triebe, von denen 20 zu dem ersten Haupttrieb, dem Fludhemmwerk, hinzuzuthun, zu bauen, zu schaffen waren, um die für den Fabrikbetrieb geeignete Umtriebs-Dampfmaschine hinzustellen. Das hatte, von der Erfindung (1688) an gerechnet, nahe drei Menschenalter in Anspruch genommen.

Diese Aufzählung zeigt wohl deutlicher, als vieles Andere vermöchte, welche geistige Arbeit im achtzehnten Jahrhundert auf die eine Maschine verwandt worden ist. Es war eben das ganze Jahrhundert, was daran arbeitete, nicht bloss einige Hochbegabte, wie das heldenbedürftige Publikum so gerne glaubt. Wohl ragten mehrere besonders Tüchtige, Watt namentlich, weit hervor; aber die mechanischen Köpfe ganz allgemein beschäftigte der noch unentwickelte Hemmwerkbegriff und so fanden sich Helfer ringsum. Den Begriff vom Hemmwerk hatte man aus der schon lange erfundenen Kammerschleuse nicht klar herausgeschieden; dass man aber mit dem Begriff arbeitete, sieht man doch an der Wassersäulenmaschine, die 1730 schon auftauchte, 1750 fertig und betriebsfähig war. Daneben auch gieng das Schaffen und Wirken an den Genauigkeitshemmwerken, den Uhren, einher. Dass diese sich geradezu parallel zur Dampfmaschine entwickelten, ist nicht Zufall, sondern ein Merkzeichen von der lebhaften Gedankenströmung, die damals überhaupt in der Technik im Gange war.

Die vorgeführten Beispiele von Krafthemmwerken mit regelmäfsigem Betrieb werden ausreichen, das Grundsätzliche daran ins Licht zu setzen. Es sei nur kurz noch erinnert, dass das letzte Halbjahrhundert uns in den Aether-, Gas-, Petroleummaschinen, Kohlenstaubmaschinen usw. noch eine ganze Schaar von Fludhemmwerken gebracht hat, woraus klar wird, welchen Umfang und welche Bedeutung das Gebiet der Fludhemmwerke gewonnen hat.

§. 100

Verbundmaschinen, Kurbelkapselwerke

In den Kraftmaschinen, die durch gasförmiges Flud betrieben werden, ist es für die Ausnützung des Arbeitsvermögens des Treibfludes von hoher Wichtigkeit, dessen Dehnungsarbeit zu verwerthen. Das Bestreben hierzu wird bei Dampf-, Gas-, Pressluftmaschinen usw. um so entschiedener zur Geltung gebracht,

je höher die Anfangsspannung des Fludes ist. Bei dem „einfachwirkenden“ Dampfhemmwerk, wie es zum Betrieb von Grubenpumpen benutzt wird, leitet man die beim Hubbeginn überschüssige Arbeit in Krafthaltungen, z. B. schwere Massen, die von diesem Ueberschuss beschleunigt werden, aber die aufgenommene lebendige Kraft bis gegen Ende des Hubes wieder abgeben. Gewichtshebel, auch Wasserhebel*) dienen dabei als Hülfsmittel.

Bei den Umtriebs-Dampfmaschinen, Pressluft- und Gasmotoren aller Art dient in verwandter Weise das Schwungrad, das aber, statt bis zum Hubschluss zum Stillstand zu kommen, bloss an Schnelle etwas einbüsst. Ausgiebiger noch wirkt die Verwendung des Treibfludes in der „Verbundmaschine“**). Eine von dehnbarem Flud betriebene Verbund-Kraftmaschine besteht aus zwei oder mehr in dieselbe Fludsäule eingereihten Hemmwerken, deren aufeinander folgende Kolbenräume jeder grösser hergestellt sind, als der vorhergehende. Das Treibflud gelangt demzufolge schrittweis vom kleinsten bis in den grössten der Kolbenräume und hat schliesslich unter Arbeitsabgabe die der Raumvergrösserung entsprechende Dehnung erfahren. Die Reihe der Verbundsdehnungen bezeichnet sich am einfachsten, wenn man die Zahl der verbundenen Kolbenräume nennt. Stehen zwei

*) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 872, mit Bochkoltz auch Windkessel.

**) Das vom Verf. empfohlene Wort „Verbund“ bezeichnet genau, was mit dem englischen *compound* bezeichnet werden will; es ist in den behördlichen und den höheren technischen Kreisen nunmehr fest angenommen. Das Wort stammt aus dem Mittelalter, wurde aber, den damaligen Regeln des Oberdeutschen gemäfs, „Verbunt“ geschrieben (s. Lexer, Mittelhochdeutsches H.-W.-Buch, III, S. 85). Der gelegentlich erhobene Einwand, man müsse „Verband“, nicht „Verbund“ sagen, ist nicht stichhaltig. Beide Begriffe bestehen nebeneinander. Der Verband ist eine losere Verbindung zu gemeinsamen Zwecken, wie beispielsweise auf allgemeinerem Gebiet der Buchhändler-Verband, der Verband D. Architekten- und Ing.-Vereine, bedeutet aber nicht die gegenseitige Abhängigkeit, die im vorliegenden Falle auszudrücken ist. Im Verband oder in „einem“ Verband stehen beispielsweis die Arbeitsmaschinen einer Fabrik, die von einem und demselben Triebwellenstrang betrieben werden. Die praktische Elektrik unterscheidet Einzel-Antrieb und Gruppen-Antrieb von Arbeitsmaschinen; im letzteren stehen die Maschinen im Verband. Dagegen arbeiten die Hefner'schen Lampen in einem Stromkreise im Verbund. Die obigen Kreisseiltriebe, §. 73, sind auch Verbundtriebe; bei ihnen gibt ein und dasselbe Track — an Stelle eines Fluds — an die hintereinander gereihten Rollentriebe Triebkraft ab und kommt entkräftet an der Antriebsstelle wieder an. Auch hier kann Verbund neben Verband vorkommen; so stehen bei der Anlage von Fig. 404, S. 477 zwei Verbundtriebe im Verband.

Dampfcylinder im Verbund, so heisst dann die Maschine eine Zweiverbundmaschine, wenn drei, vier, eine Dreiverbund-, Vierverbundmaschine*). Die Hemmwerke, die sie bilden, können gleichzeitig noch für sich in „Verband" stehen, was sich auch noch unschwer ausdrücken lässt. Einige Beispiele seien vorgeführt.

*1. Beispiel. Fig. 576 (a. f, S.) stellt im Längsschnitt eine, von Denny & Cie in Dunbarton gebaute Schiffsschrauben-Maschine dar. Sie hat vier im Verbund stehende Dampfcylinder, deren Kolben paarweis fest verbunden sind und je auf eine der rechtwinklig versetzten Kurbeln der Schraubenwelle wirken. Die Maschine ist also eine Vierverbund-Zwillingsmaschine. Ein- und Auslasscylinder stehen bei gleichem Kolbenschub in dem Durchmesserverhältniss 32 : 92, woraus sich ihr Räumteverhältniss zu 1 : 8,2 ergibt. Es würde also, wenn der Einlasscylinder Volldampf bekäme, etwas über achtfache Dampfdehnung stattfinden. In der gezeichneten Stellung ist aber der Dampfeinlass schon bei halbem Hub geschlossen, was rund 16facher Dehnung entspricht**). Den vier Cylindern entsprechen vier Schieber; zwei davon sind Kolben-, zwei Muschelschieber. Da nun, wie wir von S. 634 wissen, jeder der Schieber hier vier einzelne Ventile in sich verschmolzen enthält, so stellen die vier Schieber 16 Ventile, d. h. also 16 für Fludaufhaltung eingerichtete Sperrer vor. Die Kolbenpaare wirken auf die Welle mit dem Geradschubkurbeltrieb* $(C_3'' P\perp)\frac{d}{c}$; *die Welle ihrerseits betreibt die Schieberpaare mit je einem höheren Schubkurbeltrieb, nämlich dem Stephenson'schen Schleifbogengetriebe****).*

Es verdient hier hervorgehoben zu werden, dass die Schaltwerke zur Luft-Zusammenpressung, die Luftpresser, in den Kolbenräumen die den vorliegenden sehr ähnlich sind, nur anders gesteuert werden, und zwar so, dass die Luft vom atmosphärischen Zustande aus schrittweis zu höherer Spannung gebracht wird; man nennt das Stufenverdichtung. Während bei der Verbund-Dampfmaschine die Wärmeverluste klein gehalten werden, ist man beim Verbund-Luftpresser in der Lage, die beim Pressen

---

*) Die Engländer nennen eine Zweiverbundmaschine an sich schon „compound" und kommen dadurch in die unbequeme Lage, bei mehr als zwei Cylindern zu den Bezeichnungen „Dreifach"-, „Vierfach"-Expansion usw. greifen zu müssen; bei Anwendung der obigen Beziehungsweise brauchen wir ihnen hierin nicht zu folgen.

**) Hier wird deutlich, dass die englische Benennungsweise, die hier lauten würde „Vierfach-Expansionsmaschine", eine Angabe in die Benennung hineinzieht, die zwar durch die Zahl 4 etwas anzeigt, aber eine missverständliche Nebenangabe bei sich führt, da nicht vierfach, sondern ungleich stärker, nämlich weit über 16fach „expandirt" wird.

***) Dieses und andere Steuerungsgetriebe in kurzem Ueberblick s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 948.

Fig. 576 Viererbundmaschine des Dampfers Buenos Aires

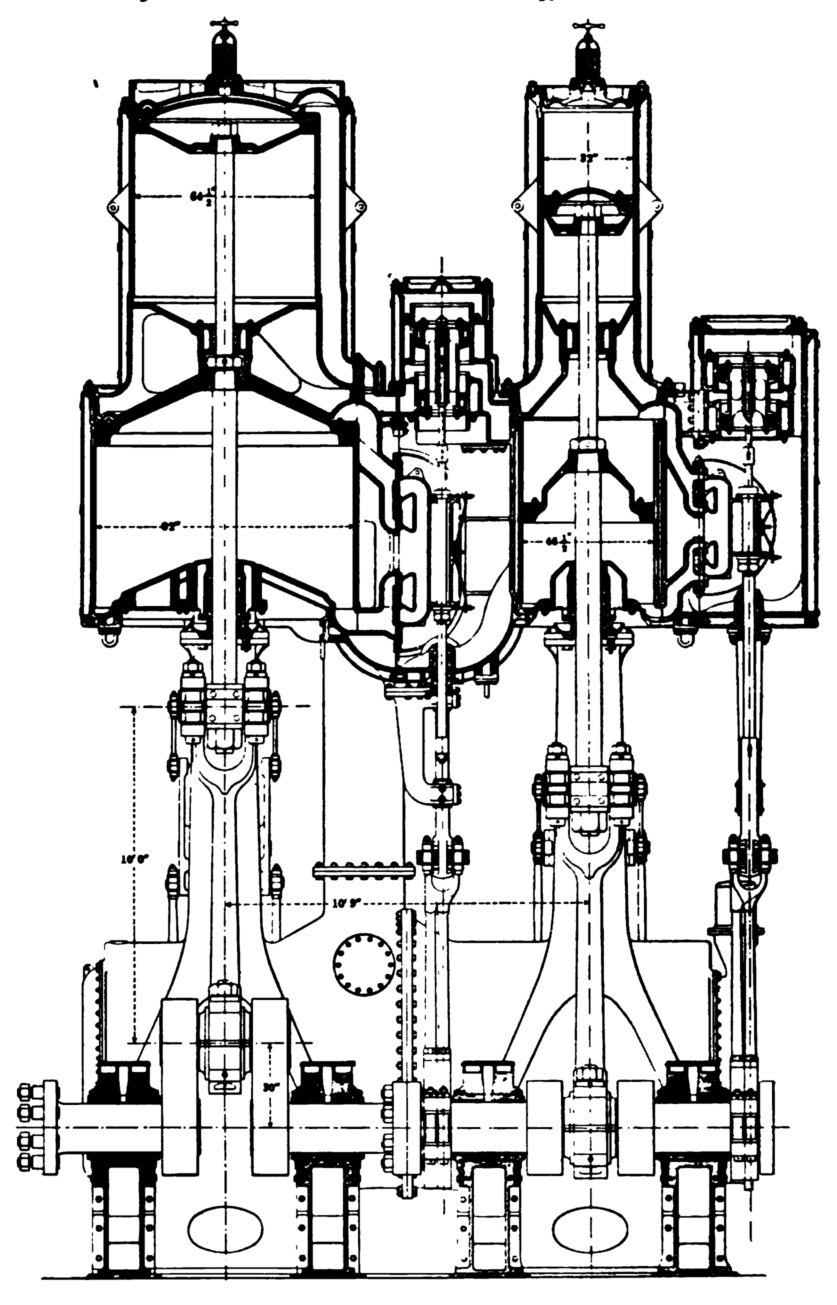
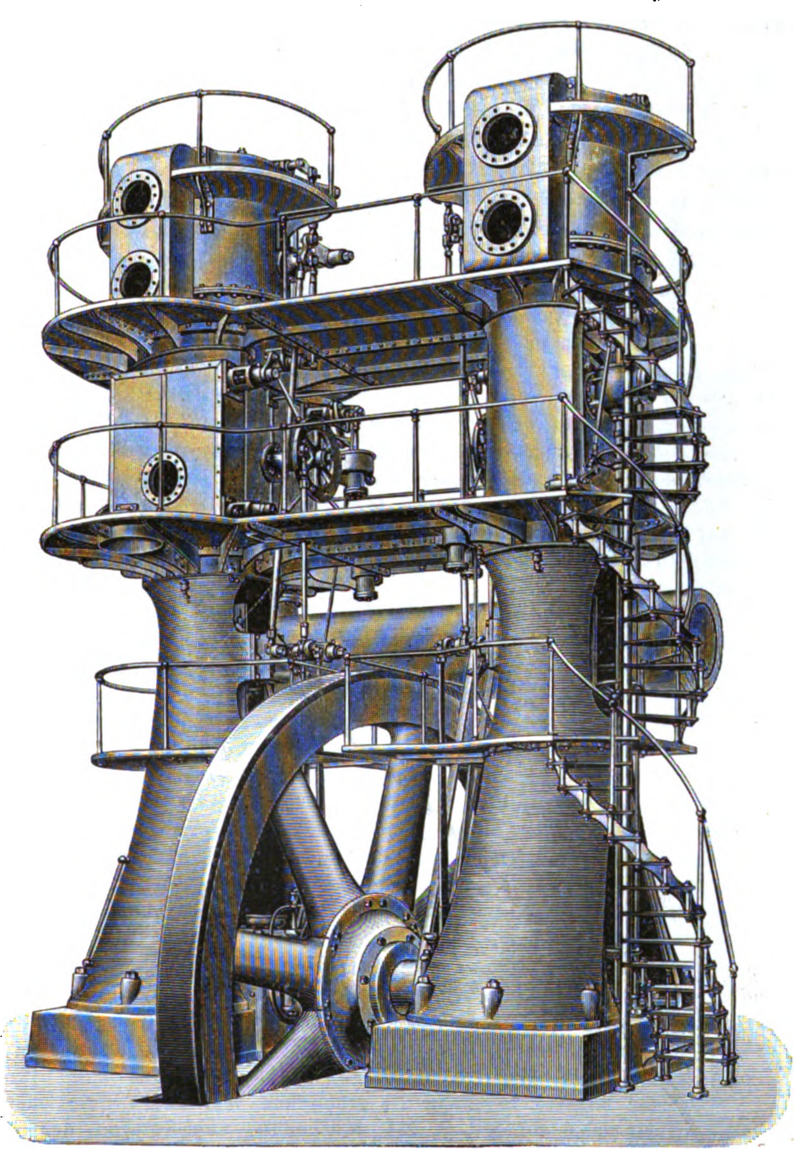


Fig. 577 Gebläsemaschine für eine Bessemer-Anlage



entstehenden Wärmegewinne verwerthen zu sollen, was nicht ganz leicht ist. Sehr häufig treibt man das Luftpresser-Schaltwerk unmittelbar durch das Dampfhemmwerk (vergl. auch S. 184),

nimmt aber dabei gern die oben erwähnte, ausgleichende Wirkung eines Schwungrades zu Hülfe.

2. Beispiel. Das ist auch geschehen in dem in Fig. 577) (a. v. S.) dargestellten Zweiverbund-Zwillings-Dampfgebläse, erbaut in den ausgezeichneten Werkstätten von Allis & Cie in Milwaukee.*

*3. Beispiel. Eine eigenthümliche Form hat der Amerikaner P. W. Willan**) der Verbunddampfmaschine gegeben, indem er 1) die Steuerungsschieber in das Innere des Stückes, das wir Kolbenstange zu nennen gewohnt sind, also in das Glied c des Geradschubkurbeltriebes* $(C_3'' P\perp)\frac{d}{c}$ *verlegte und 2) die Kolben, die nun wiederum fest miteinandev verbunden sind, einfach wirken liess. Letzteres nöthigt, den Kolbenquerschnitt zu verdoppeln, bringt aber den ansehnlichen Vortheil mit sich, dass die Zapfen nur einseitig gepresst werden und dass demnach kein Spiel in den Lagern entsteht. Dieser Kunstgriff war übrigens schon mehrfach früher angewandt worden. Er gibt zu bedenken, dass bei den Schilderungen von Watts Verdiensten um die Dampfmaschine oftmals wohl zu viel Nachdruck auf die Einführung der „Doppeltwirkung" gelegt worden ist. Die Dampfcylinder stellt Willan senkrecht übereinander; die Steuerungsventile werden Kolbenschieber, sind also von selbst entlastet, sind auch leicht von oben zu ölen. Alle beweglichen Theile der Kurbel- und Steuerungsgetriebe fallen bei Willan in das Innere, sei es der Cylinder, sei es des Gestelles, das unten ein grosses Oelbad bildet.*

*Fig. 578 stellt unter a in senkrechtem Schnitt eine Willan'sche Zweiverbundmaschine dar. Die Koppel oder Pleuelstange 2.3 ist in der Zeichnung weggelassen; das Querhaupt hat Willan als runde Trommel gestaltet. Der den beiden Cylindern gemeinsame, dockenförmig gestaltete Schieber, der gemäfs dem Vorausgeschickten vier Sperrer in sich vereinigt, wird von einem Exzenter betrieben, das neben den Kurbelzapfen 2 gesetzt ist***). In der gezeichneten Stellung der Maschine tritt bei A frischer Dampf in das Kolbenrohr und beginnt bei B in den oberen, kleineren Cylinder überzutreten; die Einwege bei B öffnen sich rasch. Inzwischen nähert sich der obere Schieberknauf den Oeffnungen bei A und sperrt sie alsbald, sodass die Dehnungswirkung des Dampfes beginnen kann. Kurz bevor der Kurbelzapfen den inneren Todpunkt 2'' erreicht, gelangt der nun aufwärts steigende Schieber mit der Unterkante seines zweiten Knaufes an den unteren Rand der Oeffnungen bei B, worauf Ausströmung durch die Kanäle D beginnt, und zwar nach dem Raum unter dem Kolben hin, ganz wie bei der einfachwirkenden Hubmaschine von Fig. 570. Darauf findet in derselben Ordnung*

---

*) Nach Cassiers Magazine Bd. XI.

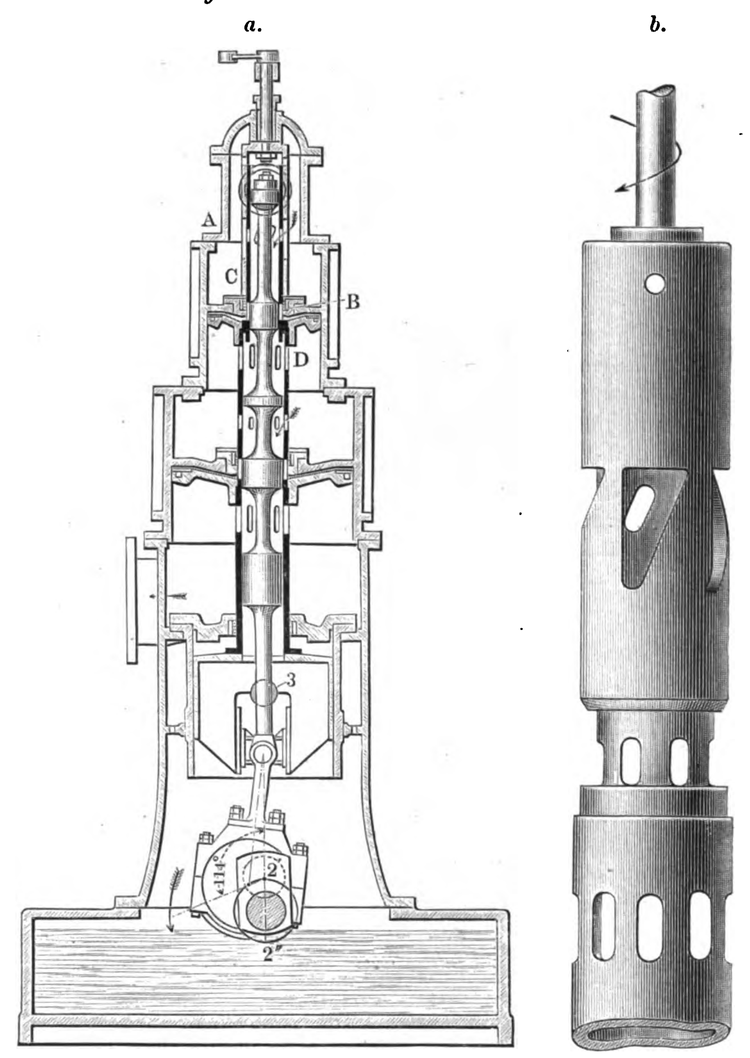
**) Dieser begabte Ingenieur ist schon aus dem Leben geschieden; s. Cassiers Magazine Bd. XV, S. 211, Mittheilung von Svenson, der die beiden Fig. 579 entlehnt sind.

***) Das Exzenter ist, gemäfs den Darlegungen im ersten Bande, S. 304 ff., ein als „erweitert" zu bezeichnender Zapfen. Dieser könnte auch auf der Hauptachse 1 sitzen; die „Erweiterung" fiele aber dann höchst unbequem gross aus.

wie beim oberen Cylinder, Uebergang in den zweiten, grösseren Cylinder statt; nur die Absperrung durch den Schieber fällt weg.

Die Absperrung am oberen Cylinder ist bei Willan sinnreich dadurch veränderbar gemacht, dass die Oeffnungen des Kolbenschiebers schräge oder

Fig. 578 Willan'sche Verbundmaschine

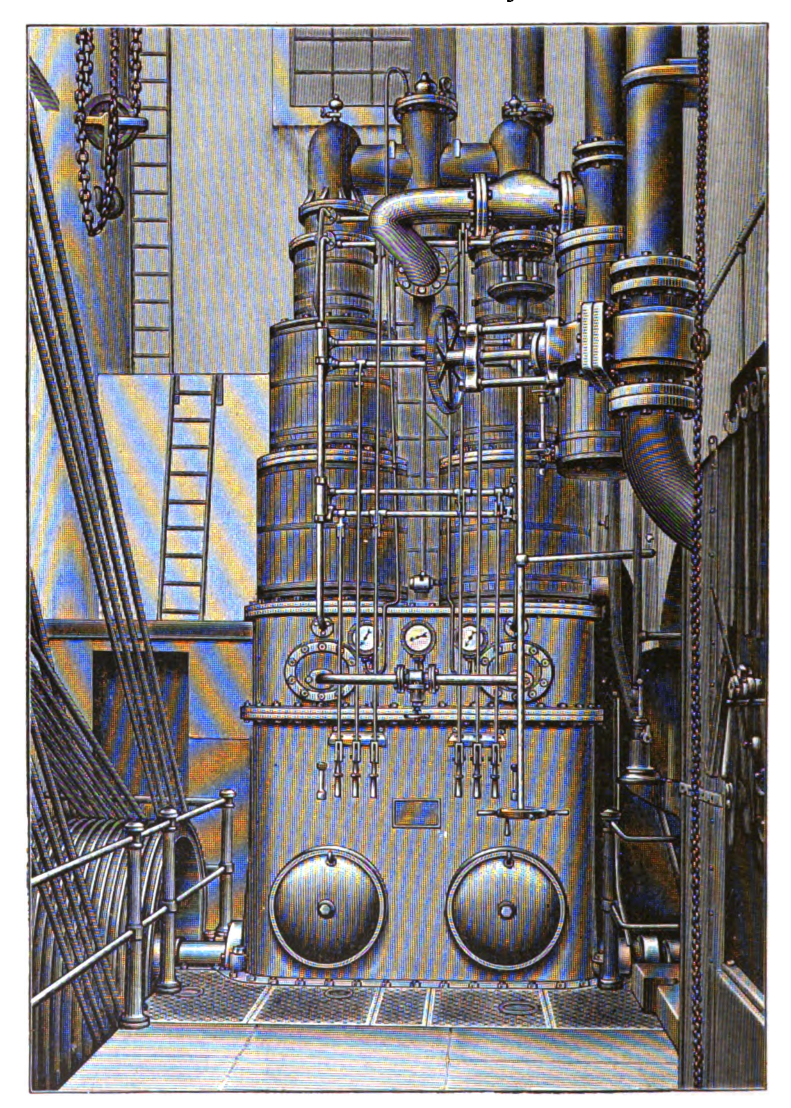


schraubenförmige Unterkanten haben und der Schieber um seine geometrische Achse verdrehbar ist, s. Fig. b, eine Einrichtung, die von dem Rider'schen Expansionsschieber her bekannt ist. Um Willans Maschine verständlich zu

machen, hat man nur festzuhalten, dass sie aus zwei oder mehr im Verbund arbeitenden Maschinen nach Art der in Fig. 576 dargestellten unter

Fig. 579

Willan'sche Dreiverbund-Zwillingsmaschine



Anwendung auf Geradschubkurbeltrieb besteht. Gebaut wird sie von der Bullock Mfg. Company in Chicago unter der Bezeichnung „Central-Valve-Engine“ oder Innen-Schieber-Maschine. Auf der Ausstellung in Chicago

1893 diente sie als Zweiverbund-Zwillingsmaschine zum Betrieb von Brushs Stromerzeugern. Jetzt wird sie vorzugsweise in Dreiverbund ausgeführt. Fig. 579 stellt eine ihrer Ausführungen, bestimmt zum Betrieb einer Baumwollspinnerei) dar; Leistung 650 PS ind., Kesselspannung $12^1/_2$ at, minutliche Umlaufzahl 200. An der St. Pancras-Station in London dienen zur Lichtstromerzeugung 11 Willan'sche Dreiverbund-Zwillingsmaschinen von zusammen 1450 PS ind., die nach Versuchen von Prof. Robinson 0,87 kg Kohle auf 1 PS verbrauchen**).*

In dem letzten der vorstehenden Beispiele sehen wir den Kurbeltrieb $(C_3'' P^{\perp})\frac{d}{c}$ mit einer grossen Freiheit und Sicherheit, sowohl hinsichtlich der Kolbenraumbildung als der Ventil- oder Sperrerbewegung behandelt. Die älteren Vorstellungen von Kolbenstange, Stopfbüchse, Schieberstange, oder gar „äusserer und innerer Steuerung", die, wie wir aus Früherem wissen, thatsächlich nichts Grundlegendes haben, sind soviel wie bei Seite geschoben; bei näherer Betrachtung erweist sich dagegen das wirklich kinematisch Grundsätzliche nirgend verletzt, ein Beweis dafür, wie nothwendig es war und ist, dieses Grundsätzliche herauszuschälen oder herauszuziehen, wie in den früheren Betrachtungen hier geschehen ist. Man hat übrigens in einer Weise, die der soeben beobachteten verwandt und ähnlich ist, schon früher dem Kurbeltrieb in allerlei Gestaltungen andere Formen für die Kolbenraumbildung abzugewinnen versucht. Das ist geschehen in den Einrichtungen, die ich im ersten Bande als „Kurbelkapselwerke" übersichtlich zusammen zu fassen versucht habe.

Es wurden daselbst einige 60 Kurbelkapselwerke beschrieben und überhaupt etwa 80 derselben besprochen. Ich verweise auf den Abschnitt, möchte aber hier nur Folgendes hervorheben. In dem Atlas zum ersten Bande sind auf den Tafeln IV bis VII in ihren kinematischen Grundzügen dargestellt:

Kapselwerke:	*aus Kurbeltrieb:*	*bei Bildung von Kolben und Kapsel aus:*
8 . . .	$(C_3'' P^{\perp})^d$	c,d b,d a,d
6 . . .	$(C_3'' P^{\perp})^b$	d,e c,b a,e d,b
18 . . .	$(C_3'' P^{\perp})^a$	c,d c,b c,a d,a b,a d,b b,d
1 . . .	$(C_3'' P^{\perp})^c$	a,c

*) Von Thomasson & son in Bolton, England.

**) Es sei bemerkt, dass man bei uns dem englischen und amerikanischen Verfahren, die elektrischen Kraftstätten mit vielen kleineren Dampfmaschinen zu treiben, deren Betrieb durch wenige sehr starke Maschinen vorzieht.

Kapsel-werke:	*aus Kurbeltrieb:*	*bei Bildung von Kolben und Kapsel aus:*
1 . . .	$(C_2'' P_{\frac{\perp}{2}})^d$	c, d
4 . . .	$(C_2'' P_{\frac{\perp}{2}})^a$	$c, d \quad c, a$
6 . . .	$(C_4'')^d$	$c, d \quad a, d$
4 . . .	$(C_4'')^a$	$d, a \quad c, a$
3 . . .	$(C_{\frac{\perp}{3}} C^{\llcorner})^d$	b, d
3 . . .	$(C_{\frac{\perp}{3}} C^{\llcorner})^b$	$b, d \quad a, b$
6 . . .	$(C_{\frac{\perp}{3}} C^{\llcorner})^a$	$b, d \quad d, a \quad c, a.$

Es war vorher, wo es noch keine kinematische Theorie der Kurbelgetriebe gab, ja wo letztere in den einschlägigen Lehrbüchern noch gar nicht als unter sich zusammengehörig erkannt waren, nicht zum Verständniss gelangt, dass es sich in allen diesen Fällen um dieselben vier Glieder handelte, die nach strengem Gesetz zu geschlossenen Ketten zusammentreten; jeder einzelne Fall war wieder etwas Neues, kostete geistige Anstrengungen, oft recht mühsame, und doch war was man fand, was man zu „schaffen“ geglaubt hatte, nur ein Einzelwerth aus der Reihe von Abwandlungen, die wir in den vorstehenden eilf Zeilen in ihren unterscheidenden kinematischen Eigenschaften genau bezeichnen und in Band I ableiten konnten.

Im Anschluss an das Vorhergehende erkennen wir aber noch, dass jedesmal eines der kinematischen Kettenglieder als Flud in die Kette tritt, ausgedrückt durch Hervorhebung des Stückes, das den Kolben vorstellt (vergl. S. 272). In der Mehrzahl der Fälle ist das Flud als Dampf gemeint gewesen oder noch gemeint. Es war das Suchen nach der „rotirenden Dampfmaschine“, was den mächtigen Antrieb gab und zu den Einzelfindungen der Kurbelkapselwerke führte. Man glaubte dieser „Maschine“ wunderbare Vortheile zuschreiben zu dürfen. Das Wort „rotirend“, dunkel wie es ist, barg für den Grübelnden, Suchenden, später und sogar bis heute für den Nichtfachmann Werthe, die vermeintlich die grössten Opfer zu lohnen verhiessen. Die Schwierigkeiten, auf die man stiess, namentlich darin, dass man höhere Elementenpaare statt der schlichten Prismenpaarung von Kolben und Cylinder dicht schliessend herzustellen hatte, schreckte auch urtheilsfähige Techniker nicht zurück; auch sie hatten sich von der Jagd nach dem Schattenbild „Rotirend“ befangen lassen und führten z. B. die Maschinen aus konischem Kurbeltrieb

($C_3^{\angle} C^{\angle}$) scharfsinnig und glänzend aus*). Immer war auch dann der erhoffte Ueberschuss null, wenn nicht negativ.

Von dem durch unsre Untersuchungen gewonnenen Standpunkt erklärt sich aber der merkwürdige Eifer dahin: Man war bestrebt, die Dampfmaschine als Laufwerk statt als Hemmwerk herauszubringen. Das ist der Schlüssel. Man wollte die ausgezeichneten Eigenschaften, die die Wasserräder und Turbinen in ihrem stetigen Wirken besitzen, auf die Dampfmaschine übertragen. Was man aber erzielte, mit allen Anstrengungen, war immer wieder ein Hemmwerk mit seiner Steuerung, d. i. seinen Sperrklinken. Denn immer brauchte man Räume, die sich bei statischem, innerem Fluddruck vergrösserten, ohne Flud entschlüpfen zu lassen, und sich dann wieder beim Auslassen des Fluds verkleinerten. Dazu boten sich die Kurbeltriebe in vielen Formen an, aber befreiten nicht von der Nothwendigkeit, den Fludstrom absetzend, also unstetig wirken zu lassen, demnach ein Hemmwerk zu verwirklichen. Einiges Brauchbare kam heraus, namentlich für die Fludschaltwerke, d. i. Pumpen, sehr wenig aber für die Hemmwerke. Denn wenn man z. B. die beiden von Fig. 580**) (a. f. S.) anführen wollte, die sich für einzelne Zwecke erhalten haben, so erkennen wir sofort in ihnen die alten, nur auf ein anderes Glied gestellten Hemmwerke. Die so gebildeten Maschinen sind ebensoviel und wenig „rotirend“ wie die gewöhnliche Kurbeldampfmaschine, in der doch auch ein umlaufendes Glied, die Kurbelwelle nebst Kurbel und Rad, vorkommt; ich nannte Maschinen dieser Art deshalb Drehmaschinen***) gegenüber den Hubmaschinen wie die in Fig. 570.

Man könnte an die Kapselräder denken, die ja reine Drehbewegung haben. Sie eignen sich allenfalls für Betrieb durch Wasser, nicht aber für Dampfbetrieb, da sie dem Dampfe seine Dehnungsarbeit nicht zu entziehen vermögen. So bleibt denn für den statischen Betrieb durch Dampf nur das Hemmwerk, d. i.

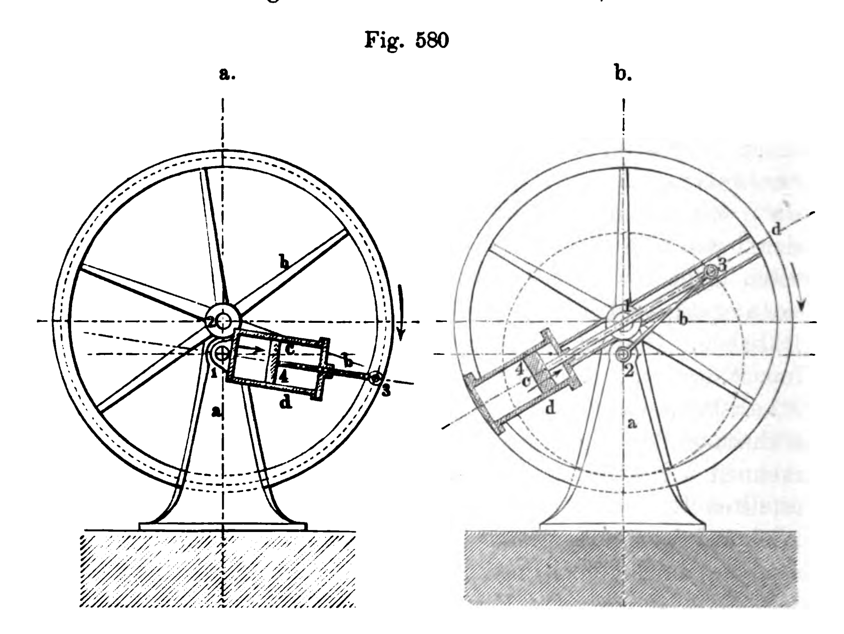
*) So z. B. die Bishop'sche „Scheibenmaschine“, die längere Zeit hindurch die Times-Schnellpressen trieb, s. Johnson, Imperial Cyclopaedia, London 1856, Steam engine, p. 19, Tafel XII bis XIV.

**) S. Bd. I, S. 359, die unter a von Ward, von Schneider, von Mouline, die unter b von Morey und von Schneider angegeben.

***) Die Engländer unterscheiden *rotary* und *rotative*, ersteres für reine blosse Drehung, letzteres für Drehung neben anderen Bewegungen gebrauchend.

die aus Papins Erfindung heraufentwickelte Kolbendampfmaschine übrig. Wird sie als Drehungsmaschine gebraucht, so tritt uns die Beigabe des Schwungrades, die wir schon oben als wichtig erkannten, begrifflich noch bestimmter entgegen. Zu Laufwerken lassen sich die Kurbelkapselwerke, zu denen ja der gewöhnliche Kurbel-Dampfmaschinenbetrieb gehört, nicht gestalten. Durch das Schwungrad aber macht man die, der Kurbelwelle

Fig. 580



vom Hemmwerke ertheilte Drehbewegung so ähnlich der eines Laufwerktriebes, dass sie ganz befriedigend statt einer Laufwerkbewegung gebraucht werden kann. Damit ist das Endziel der Suche nach dem unmöglichen statischen Dampflaufwerk aus Kurbeltrieb erreicht.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Krafthaltung, als welche das Schwungrad hier auftritt, bei den grossen amerikanischen Flussdampfern durch das schwere Ruderräderpaar geliefert wird (vergl. S. 345). Bei den europäischen Raddampfern sind die Räder in der Regel kleiner, also leichter; um dennoch ohne besonderes Schwungrad auszukommen, baut man dabei die Dampfmaschine als Zwilling mit Viertelkreisversetzung der Kurbeln. Bei den grösseren Schraubendampfern wendet man gern Drillings-

maschinen an, weil die Triebschraube im Verhältniss zur Maschinenstärke noch weit leichter ist als vorhin, glücklicherweise auch eine hohe Umlaufzahl erhalten muss, sodass auch hier kein getrenntes Schwungrad nöthig wird*). Bei den Lokomotiven bildet die Masse der Lokomotive selbst die Krafthaltung, die die Drehbewegung der (Zwillings-)Kurbeln der Gleichförmigkeit der Laufwerkbewegung sehr annähert.

Beim Otto'schen Gasmotor und seinen Nachfolgern, von denen man sagt, dass sie im „Viertakt" arbeiten, geht die Aufgabe des Schwungrades noch weiter, indem bei ihr stets nur in der dritten Halbdrehung der Kurbel Triebkraft zugeführt wird. Diese Maschine vereinigt in sich Schaltwerk und Hemmwerk. Während der einen ganzen Kurbeldrehung ist sie Schaltwerk, das ein Gemenge von Gasen und Luft ansaugt und dann zusammenpresst. Darauf wird die Maschine Hemmwerk, indem nun das Gemisch, nachdem es als Gasspannwerk ausgelöst, d. i. entzündet worden ist, den Kolben treibt; bei der vierten Halbdrehung wird ausgepufft. Während dreier Halbdrehungen der Kurbel hat das Schwungrad als Krafthaltung Arbeit herzugeben, die es während einer von vier Halbdrehungen überschüssig zugetheilt bekommen hatte**). Das bessert sich, wenn man, wie bei grösserem Kraftbedarf geschieht, die Maschine als Zwilling baut. Hier sei noch hervorgehoben, dass die Gaskraftmaschine in dem Gasbehälter der städtischen Beleuchtung ihre thätige Haltung findet, die dem Dampfkessel entspricht, die Petrolmaschinen und die Diesel'sche Maschine wie die ihr verwandte von Donát Banki in Pest***), ob mit Petrol oder mit Kohlenstaub betrieben, dagegen nicht (vergl. S. 368), was denn die Möglichkeit geboten hat, die Kraftstrassenwagen mit Treibmaschinen von so geringer Ausdehnung zu versehen, dass deren praktischer Betrieb überhaupt angängig werden konnte. Das darf uns daran erinnern, welch

---

*) Nützlich würde dasselbe für die grossen Postdampfer immerhin sein, um bei stürmischer See das Durchgehen der Maschine bei hoch auftauchender Schraube zu mässigen.

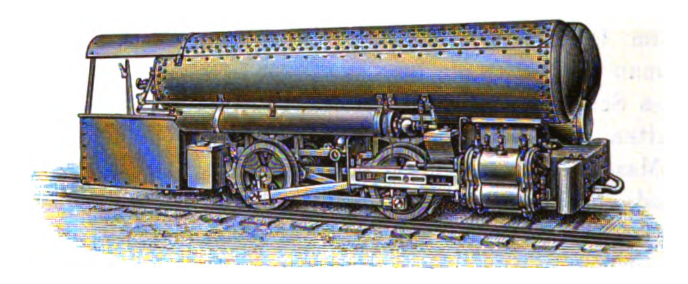
**) Anfänglich hatte Otto eine besondere Pumpe zum Gaspressen neben den Kraftcylinder gelegt, also Schaltwerk und Hemmwerk deutlich aus einander gehalten. Das Schlagwort „Viertakt" hat die Gangart der Maschine weit weniger klar gemacht, als man meist annimmt.

***) Beides Maschinen, die, ähnlich der kalorischen, innere Verbrennung ohne Explosion oder, wie man es nennen könnte, Innenbrand haben. Auch hier ist eine Stelle, wo eine frische Entwicklung ansetzt.

ein anderer Schritt es einst war, die Haltung Dampfkessel auf den Kraftschienenwagen, genannt Lokomotive, zu setzen.

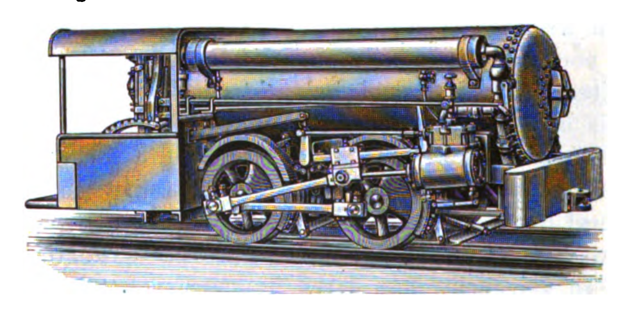
Auch bei den neueren Pressluft-Lokomotiven, von denen Fig. 581 eine für Strassen- und Hochbahnbetrieb, Fig. 582 eine solche für Grubenbahnbetrieb, ober- wie unterirdischen darstellt,

Fig. 581 Pressluft-Lokomotive für Strassenbahuen



wird die Haltung mitgeführt, das Fahrzeug also selbständig gemacht. Die Pressluft wird mitgeführt in langen Mannesmannröhren unter 200 at Spannung. Man bemerkt an der ersteren Maschine, dass sie auf Zweiverbund eingerichtet, somit wegen der

Fig. 582 Pressluft-Lokomotive für Grubenbahnen



Gleichseitigkeit des Baues eine Zweiverbund-Zwillingsmaschine ist*). Bei mehreren französischen Pressluft-Lokomotiv-Betrieben liegt eine Rohrleitung für die Pressluft unter dem Geleis, die auf den Stationen Luft nachliefert, entnommen aus Haltungen an den Endstationen.

---

*) Die dargestellte Strassenbahnmaschine wird geliefert von Burnham, Williams & Cie in Philadelphia, die Grubenbahnmaschine von H. K. Porter & Cie in Pittsburgh. Auf zwei Querlinieu in Neuyork laufen die Hardieschen Pressluftwagen.

Angesichts der reichen Entwicklung des für Drehungsbetrieb benutzten Hemmwerkes für gasförmige Flude kann hier die Frage kaum umgangen werden, welche Stellung denn den neuen Versuchen und bereits gelungenen Ausführungen der Dampfturbinen und Dampfräder in der kinematischen Theorie zukommt. Diese Frage drängt sich auf, da doch, wie wir oben, S. 502 bis 504 gesehen haben, die Dampfbenutzung in den genannten Maschinen so weit von derjenigen in der gebräuchlichen Dampfmaschine verschieden ist. Die Antwort können wir aber nach dem Vorausgeschickten dahin geben: dass diese neueren Dampfmaschinen dynamisch wirkende Dampflaufwerke sind. Der Unterschied zwischen Hemmwerk und Laufwerk als treibender Maschine tritt hier so stark hervor, wie an kaum einem anderen Punkte. Es wurde oben stets hervorgehoben, dass die Hemmwerk-Dampfmaschinen „statisch“ wirken, durch Pressungen in raumerfüllenden Fluden, Pressungen, die allseitig wirken, aber einseitig verwerthet werden. Statisch wirkende Laufwerke haben wir ebenfalls vorgefunden in den Kapselräderwerken; sie erwiesen sich indessen als nicht für Dampfbetrieb geeignet, da sie die Dehnkraft des Dampfes nicht auszunützen gestatteten. Unter diesen Umständen sind die schon alten Versuche, den Dampf im dynamisch arbeitenden Laufwerk wirken zu lassen, wieder aufgenommen worden. Man liess sie früher immer wieder fallen wegen der ungeheuren Strömungsschnelle, die man dem Dampf geben oder belassen musste, wenn man ihn so arbeiten lassen wollte. Die Schwierigkeit hat man in den angeführten Beispielen überwunden. Laval that das in seinem Dampf-„Rad“ durch geschickte Anbringung von Räderübersetzungen, Parsons in seiner Dampf-„Turbine“ durch vielstufiges Herabsetzen der Dampfspannung. Bei Parsons wirkt der Dampf durch Prall im Zwiselschraubentrieb, vergl. S. 398, indem er zuerst durch schraubenförmige, feststehende Kanäle in Schraubenbewegung geleitet und darauf in andern schraubenförmigen, am Laufrad angebrachten, von ihm gefüllten Kanälen als Strahl zum Wirken gebracht wird. Bei Laval wirkt der Dampf dadurch, dass er durch gekrümmte Schaufelflächen am Laufrad in dünner Schicht aus seiner Richtung gelenkt wird, was nur unter Druck möglich ist, vergl. S. 496. Der weiteren Entwicklung dieser beiden, wesentlich von einander verschiedenen Maschinen haben wir entgegen zu sehen. Hier haben wir das Eine erreicht, dass wir bestimmt und einfach die Unter-

scheidung feststellen konnten, die zwischen diesen beiden reinen Drehmaschinen und der Kolbendampfmaschine zu machen ist*).

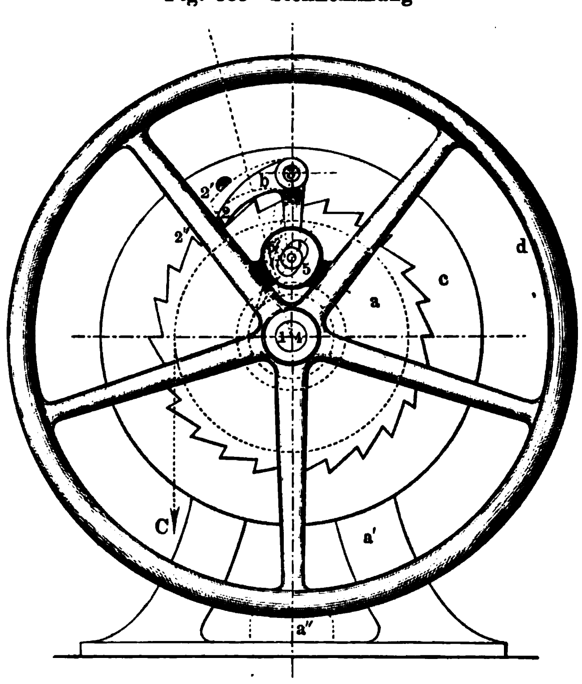
§. 101
Stellhemmwerke

Richtet man ein Hemmwerk so ein, dass das eben gelöste Stück durch seine beginnende Bewegung das Gesperre wieder alsbald schliesst, so entsteht das, was eine Stellhemmung genannt werden kann, weil die Hemmweite abhängig ist von der Grösse der Verstellung des auslösenden Maschinentheils. Eine leicht verständliche, vom Verfasser angegebene Stellhemmung zeigt Fig. 583. *a b c* laufendes Zahngesperre auf *a* gestellt, *d* Steller der Sperrklinke, um die Achse 1 des feststehenden Sperrades drehbar; der Steg *c* oder 1.3 (man vergl. Fig. 490) ist radförmig aus-

*) Die S. 503 erwähnten Mittheilungen über die Parsonsturbinen sind durch einen soeben (Juliheft 1899 von *Cassiers Magazine* S. 191) erschienenen Bericht von Parsons selbst wesentlich vervollständigt worden. Eine *Parsons Marine Steam Turbine Company* mit dem Sitz in *Wallsend on Tyne* (England) ist gebildet worden und betreibt bereits vollauf ihre Werkstätten. Zwei Torpedojäger von je 12000 PS sind daselbst im Bau; sie sollen vertragsmässig 35 Knoten Fahrt haben. Bemerkenswerth ist das geringe Gewicht der Maschine. Auf die Tonne des Gewichtes der Maschinen, Kessel und Zwischentheile entfallen 75 PS gegenüber 48 PS bei den bisherigen Maschinen. Zwei Kanaldampfer werden jetzt auf dem Werk gebaut, der kleinere von 816, der grössere von 1300 Tonnen Verdrängung. Der letztere bekommt 50000 PS mit und soll 38 Knoten laufen, d. h. die Fahrt von Calais nach Dover in $^1/_2$ Stunde zurücklegen. Beide Schiffe erhalten 4 Schraubenwellen, jede mit 2 Triebschrauben (statt 3 wie bei Turbinia). Jedesmal arbeiten je 2 Turbinen im Zweiverbund und 1 einzeln auf Backbord und auf Steuerbord, im Ganzen also 6 Turbinen auf jedem Schiff. Auf der Turbinia hatte die Luftpumpe alten Stils durch ihr Klappern noch sehr gestört; sie ist jetzt auch durch eine Schraubenpumpe ersetzt. Interessant ist, was Parsons über die Studien an der kleinen Turbinia erzählt. Bei dieser wollten die Dinge anfangs gar nicht recht gehen, und zwar wegen der Triebschrauben. Diese wirkten schlecht und brauchten doch viel Kraft, bis man fand, dass sich hinter den Schrauben leere Räume — Wasserdrusen können wir sie nennen — bildeten, in die eine heftige Dampfbildung aus dem Wasser hineinschoss, was eine bedeutende mechanische Arbeit verschlang. Durch Abänderung in der Form und der Anordnung der Schrauben wurde die Drusung (von Froude *Cavitation* genannt) endlich glücklich beseitigt, worauf der gute Betrieb eintrat. — Der erwähnte Aufsatz führt auch Abbildungen der elektrischen Hauptanlage von Newcastle-on-Tyne vor, die ganz mit Parsons-Turbinen betrieben werden; für Stromerzeuger wirken nach Angabe von Parsons jetzt von seinen Turbinen über 60000 PS.

gebildet und wird durch ein Gewicht *C* im Sinne der Sperrkraft, d. h. in dem Sinne der Drehung, die durch die Sperrung verhindert wird, getrieben. Die Auslösung der Sperrklinke durch den Steller *d* geschieht mittelst des schrägen Schlitzes bei 5, sobald *d* links gedreht wird. Geschieht die Drehung von *d* nur so

Fig. 583 Stellhemmung



weit, dass die Klinke *b* eben ausgerückt wird, so nimmt das in Bewegung kommende Stück *c* die Klinkenachse 3 mit, während der Zapfen des Klinkenfortsatzes bei 5 verhindert wird, die Drehung mitzumachen, und führt somit die Klinkenspitze 2′ wieder in den Eingriff in der nächsten Lücke bei 2″; d. i. es hat Hemmung nach einer Theilung stattgefunden. Dreht man aber den Steller *d* um zwei, drei, vier Theilungsbogen, so wird *C* nach Durchlaufung von zwei, drei, vier Theilungen gehemmt. Damit an dem Stellhemmungsmodell*) der Steller nach vollzogener

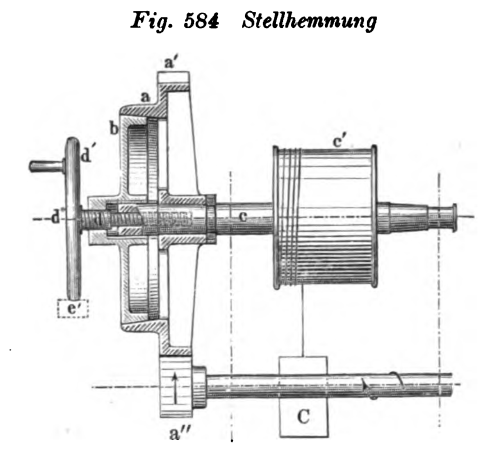
*) Das Modell ist sehr nützlich, zumal zu beobachten ist, dass wegen der bestehenden geringen Schulung in der Relativbewegung der Vorgang meist verfolgt und wiederholt werden muss, um vom Hörer verstanden zu werden.

Ausrückung nicht unsicher steht, kann bei *a''* eine Bremse angebracht werden. Die Stellhemmwerke spielen im neueren Maschinenwesen eine an Bedeutung stets zunehmende Rolle.

Leicht werden mit Reibungsgesperren, sowie mit Fludgesperren Stellhemmungen gebildet. Bildet man mittelst einer Reibungskupplung einen stets belasteten Aufzug, so erzielt man bei demselben selbstthätige Bremsung.

1. Beispiel. Fig. 584 stellt schematisch einen nach des Verfassers Angaben eingerichteten Aufzug dar, angewandt als Jochaufzug an der Kölner Schiffbrücke. a hohlkegeliges Reibungssperrad, äusserlich mit Stirnradverzahnung a' versehen und durch das während des Gebrauchs stetig von einer Kraftmaschine umgetriebene Trieb a'' im Sinne der Aufwicklung des Lastseiles erhalten. Die Trommel c' ist auf der Welle c unwandelbar befestigt, das Rad a dagegen drehbar auf c aufgesetzt. a wird aber an c gekuppelt, wenn Vollkegel b, der auf c verschiebbar aufgesetzt ist, in den Hohlkegel genügend eingepresst wird, (vergl. S. 574). Dies geschieht mittelst einer Zwiselschraube d und des Stellers d'. Die Gewinde der Zwiselschraube haben gleichsinnige, aber um 1 mm verschiedene Steigungen und pressen an, wenn der Steller d' in dem Sinne gedreht wird, in dem sich die Trommel c' beim Aufziehen bewegt. Wird die Kupplung b a durch Vorwärtsdrehen von d' geschlossen, so findet Aufziehen statt. Wird der Steller d' nur festgehalten, so bleibt c' stehen trotz dem Zuge am Seil, da die beginnende Ablaufbewegung stets b und a selbstthätig genau so fest an einander presst, dass die zwischen beiden entstehende Reibung genügt, der Zuglast das Gleichgewicht zu halten. Wird d' rückwärts gedreht, so bewegt die Zugkraft von C auch c' rückwärts und zwar unter stetiger Bremsung von b a, welche Bremsung immer ohne weiteres Zuthun die richtige Grösse erhält. a'' wird auf der Kölner Brücke durch einen Gasmotor umgetrieben; der Brückenwärter findet den Aufzug so bequem, dass er, am Geländer stehend, mit einer Holzstange den Steller leitet ohne hinzusehen.

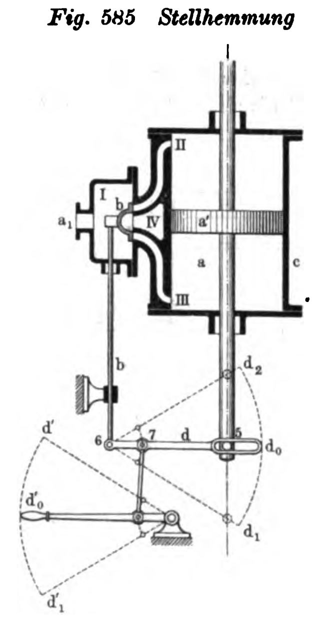
Fig. 584 Stellhemmung



2. Beispiel. Eine Stellhemmung aus Fludgesperre versinnlicht Fig. 585. a b c ruhendes, doppeltwirkendes, d. h. vor- wie rückwärts wirkendes Gesperre für das Flud a, das bei a_1 aus genügend hoher Drucksäule zugeführt wird. b Schieber, der, wie man nicht vergessen darf, aus vier vereinigten Sperrern

oder Ventilen besteht. Wird der Schieber gehoben, was mittelst des Stellers d' geschieht, so hebt das Flud a auch den Kolben a', senkt aber dadurch auch sofort wieder den Schieber vermittelst des Gestänges d b, indem das Stellgestänge bei 7 zwischen den Angriffspunkten 5 und 6 des Kolbens und des Schiebers den Schieberlenker d angreift. Das ist derselbe Vorgang des Wiederschliessens des Zahngesperres in Fig. 583 durch das in Gang kommende Glied c. Abwärtsbewegung des Stellers bewirkt auch Abwärtsgang des Kolbens. Letzterer vermag dabei jeden, den Ueberdruck der Obersäule nicht übersteigenden Widerstand zu überwinden, während andrerseits das Bewegen des Stellers nur ganz geringe Kraft erfordert, da sich ihm wesentlich nur Reibungen entgegensetzen.

Fig. 585 Stellhemmung



Diese Leichtigkeit des Stellens, dem die Ueberwindung grosser Widerstände sich unmittelbar anschliesst, macht die Stellhemmung für einzelne Zwecke ganz besonders werthvoll. Unter anderm für die Gangregler, die zwar empfindlich für Wechsel ihrer Umlaufschnelle sind, aber dabei nur kleine Arbeitsvermögen hergeben. Hier passt denn die Stellhemmung ausgezeichnet. Ein mit Dampf-Stellhemmung arbeitender Gangregler ist der von Guhrauer und Wagner*). Die Maschinenpraxis hat die vorzügliche Verbindung von Gangregler und Stellhemmung noch auffallend wenig gewürdigt. Ganz anders ist sie an einer zweiten Stelle verfahren, wo ebenfalls die Stellhemmung vorzügliche Dienste leistet, das ist bei den Steuermaschinen der Seedampfer und grossen Flussdampfer. Für letztere hat Sickles schon 1860 eine sehr brauchbare Stellhemmung gebaut**). Später ist sie dann in einer ganzen Reihe von Formen auf die Dampfer gebracht worden, wo nun

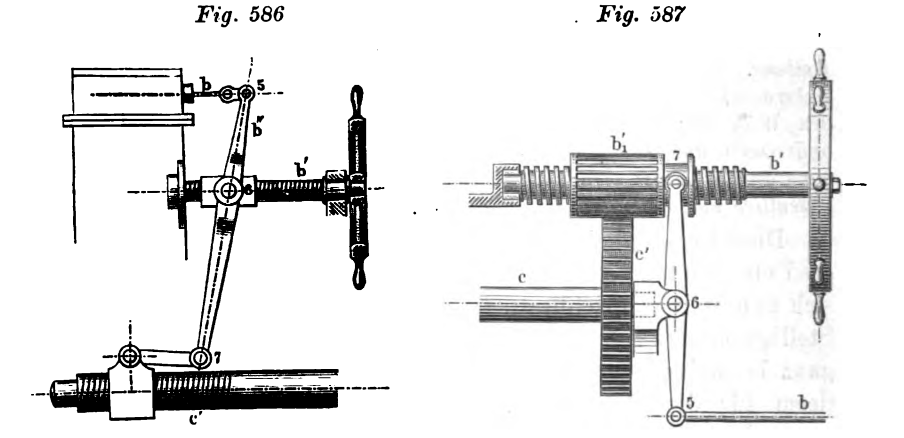
*) Gebaut bei Ganz & Cie in Budapest, s. Abbildung Konstrukteur IV. Aufl. S. 960. Zwei vom Verfasser angegebene Gangregler mit Stellhemmung s. Civ.-Ingenieur 1879 und 1880, Rittershaus, Ueber Kraftvermittler. Einen Farcot'schen Gangregler mit Stellhemmung s. Oppermann, Portefeuille écon. 1874 p. 113.

**) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 961; die Maschine war zwar dürftig ausgeführt, aber gut gangbar, auf der Weltausstellung in London 1862 zur Schau gestellt.

mittelst eines leichten hölzernen Spillenrädchens ein einziger Mann das schwerste Steuer handhabt*). Zwei Beispiele seien angeführt.

3. Beispiel. Steuermaschine von Th. Britton, Fig. 586 **). *Der Steller ist eine mittelst Handrädchens umtreibbare Schraube b', die bei 6 auf den Hebel b'' und dadurch auf den Stellschieber b wirkt, während bei 7 eine zweite Schraube c' ebenfalls auf b'' einwirkt und den Stellschieber in*

Fig. 586 *Fig. 587*



*die Schlusslage zurückführt. Die Welle c' wird von einer Zwillingsmaschine umgetrieben, und zwar rechts- oder linksum, je nachdem der Einlassschieber b vor- oder zurückverstellt wird; sie trägt auf sich eine Muldentrommel, die mittelst einer starken Schakenkette auf eine Viertelstrommel wirkt, die auf dem Ruderherzen (Achse des Ruders) befestigt ist. Hier ist also eine Drehmaschine zwischen Stellschieber und Widerstandstrommel eingeschaltet. Diese Einschaltung hat häufig stattgefunden****).

4. Beispiel. Fig. 587, Stellhemmung von Douglas und Coulson†), *ebenfalls auf die Steuerung einer kleinen Zwillingsdampfmaschine wirkend. Hier sind die Stellbewegungen auf weniger Theile zusammen gedrängt, als im vorigen Falle. Wenn die Stellerschraube b' ihre Mutter b_1' verschoben und damit den ganz ähnlich wie vorhin wirkenden Stellschieber b aus seiner Mittellage geführt hat, treibt die in Gang gekommene Muldentrommelachse c mittelst Stirnrades c' die als Marlboroughrad verzahnte Mutter b_1' wieder zurück, ganz wie Kolben a' den Schieber b im ersten Beispiel.*

Bei den gewaltigen Schiffsmaschinen, die die letzten Jahrzehnte haben entstehen sehen, bedient man sich der Dampfstell-

*) Eine Reihe von Bauarten s. Konstrukteur a. a. O.

**) S. Revue industrielle 1884, p. 435.

***) Eine Stellhemmung für Hochdruckwasser aus einem Druckhalter, ebenfalls für Steuerruderbetrieb, s. Konstrukteur a. a. O.

†) S. Engineering 1882 April, p. 281.

werke auch zum Einstellen der Stephenson'schen und ähnlichen Schleifbogen. Die bedeutende Kraft, die dazu erforderlich ist, wird durch einen Dampfkolben wie der in Fig. 585 ausgeübt, wenn die Hand des Maschinisten nur dessen Stellhebel d' vor- und zurückführt, was leicht und sicher ausführbar ist; damit ist die so wichtige Möglichkeit gegeben, die ungeheure Maschine den Befehligungen, die von der Kommandobrücke her erschallen, entsprechend arbeiten zu lassen. Auf der Lokomotive wird derselbe Schleifbogen noch allermeistens mit der Hand verstellt; jedoch hat man bei schweren Maschinen sich schon genöthigt gesehen, zur Erleichterung einen Schraubentrieb einzuschalten; vielleicht findet aber künftig auch hier die viel leichter gehende Dampfstellhemmung Verwendung. Dass man auf Turbinenschützen die Wasserdruck-Stellhemmungen, die sich da so natürlich bieten, noch nicht angewandt hat, zeigt wohl an, dass man deren Werth an diesen Stellen noch nicht erkannt hat.

§. 102

Ordnungsverhältniss der Triebe

Die gegenseitige Wirkung der in einem Maschinenwerk vereinigten und zugleich im Gang befindlichen Treibwerke hat sich in dem bis hierhin Behandelten mehrfach und verschiedentlich gezeigt; die Abhängigkeit der Triebe von einander ist bald grösser, bald geringer, bald inniger, bald loser. Ich nenne die in diesen Hinsichten betrachtete Verbindungsweise die Ordnung der Treibwerke. Drei Arten der Ordnung lassen sich unterscheiden.

a) Nebenordnung. Diese Ordnungsweise ist am meisten im Fabrikenbetrieb angewandt. Sie findet statt, wo Arbeitsmaschinen mancherlei oder auch gleicher Art von einem und demselben Triebwerk aus betrieben werden. Man kann die einzelnen dieser neben einander geordneten Maschinen, die von dem Triebwerk ihre Umtriebskraft zugeführt bekommen, aus- und einrücken, ohne den Gang der andern zu stören oder zu beeinflussen, Gangregelung vorausgesetzt. Auch Kraftmaschinen, die auf ein und dasselbe Triebwerk zu wirken haben, ordnet man gelegentlich neben einander, auch ausrückbar, wobei man sich dann der sog. Kraftmaschinenkupplungen*) bedient. Neben-

*) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 402 ff.

ordnung liegt auch vor in mehrseiligen und -spurigen, Hanf- oder Drahtseiltrieben, auch bei dem Eisenbahnzug, der von zwei hinter einander gespannten Lokomotiven gezogen wird.

b) Unterordnung. Diese ist das strengste gegenseitige Verhältniss verbundener Treibwerke. Sie findet statt, wenn von aneinander gereihten Triebwerken jedes auf das nächstfolgende wirkt, dessen Bewegungen mit bestimmt. Je nachdem zwei, drei, vier, n Treibwerke in einer Maschine unter einander geordnet sind, nenne ich das Ganze ein Treibwerk zweiter, dritter, vierter, $n$ter Ordnung. Von dieser Bezeichnungsweise konnten wir namentlich da wichtigen Gebrauch machen, wo sich Triebe gleicher Art unter einander geordnet fanden, wie bei den Schaltwerken, Hemmwerken u. dergl., auch bei zusammengesetzten Räderwerken usw. Unterordnung zeigte sich auch in der von uns analysirten Wattischen Dampfmaschine, aus deren Treibwerkfolge kein Trieb heraus genommen werden konnte, ohne die Gangbarkeit des Ganzen mehr oder weniger stark zu beeinflussen.

c) Beiordnung. Hierunter lässt sich eine Verbindung von Treibwerken verstehen, bei der der einzelne Trieb den andern zwar beeinflusst, aber nicht nothwendig zur Erhaltung des Ganges dient. Ein Beispiel liefert der Kreisseiltrieb (s. §. 73). Von den einzelnen Treibrollen desselben können unter Umständen mehrere leer laufen, d. i. in blosse Leitrollen übergehen; werden sie aber mit Widerstand beladen, so beeinflussen sie den ganzen Trieb durch Aenderung der Anspannung aller Seiltrumme: sie wirken also zu Zeiten ein und wieder zu andern Zeiten nicht ein, ohne dadurch den Betrieb zu stören.

Beiordnung ist auch in der Verbund-Dampfmaschine zu erblicken, indem wir in ihr jedes einzelne Hemmwerk als einzelnen „Trieb" aufzufassen haben. Eine Vierverbundmaschine kann man unter dieser Voraussetzung als ein Hemmwerk vierter Ordnung bezeichnen, hat aber dabei ergänzend hinzuzudenken: Beiordnung.

§. 103

Die Vielheit der Triebarten

Hiermit haben wir die Ueberschau der „Treibung", oder näher ausgedrückt, der sechs Triebgattungen, aus denen wir alle Maschinen zusammengefasst fanden, oder in die man alle Maschinen zerlegen kann — Schrauben-, Kurbel-, Räder-, Rollen-, Kurven-,

Sperrtrieb- — beendigt. Unsre Untersuchung hat reiche Ergebnisse geliefert, indem sie die mannigfaltigsten Beispiele von dieser Zerlegbarkeit beibrachte. Bemerkenswerth ist vor allem, dass die Anwendungen der einzelnen Getriebegattungen oder Triebe so ungemein zahlreich sind, und sodann, dass solche aus den allerverschiedensten Gebieten anzuführen waren. Zehn, zwanzig, Hunderte, ja Tausende von Anwendungen von Trieben, die im Grunde genommen sich auf einfache Hauptgedanken zurückführen liessen, konnten in Beispielen angeführt werden. Die Kinematik bringt dadurch ganz ausserordentliche Vereinfachungen für das eigentliche Verständniss der Maschinen mit sich. Merkwürdigerweise schreibt ihr bei uns ein grundloses Vorurtheil gerade die gegentheilige Eigenschaft zu.

Hervorzuheben ist hier nochmals, dass bei unsrer Zerlegung der Begriff „Kraftmaschine“ viel von seiner früheren theoretischen Schärfe verloren hat. Das was wir so zu nennen gewohnt sind, ist eine Maschine, deren treibendes Kettenglied irgendwoher sein Arbeitsvermögen erlangt hat, sei es von der Natur wie beim Bergwasser, sei es von einer künstlich angelegten Einrichtung wie beim Londoner Kraftwasserwerk (S. 541) oder beim Pressluftrieb, oder beim elektrischen Trieb, oder noch viel einfacher, beispielsweise im Kreisseiltrieb; denn auch in diesem steht die getriebene Scheibe zu dem von Rolle zu Rolle gehenden Seil in demselben Verhältniss, wie die Turbine zum Wasserstrang. Die Vorliebe, mit der in der Maschinenpraxis die Bezeichnung „Motor“ gebraucht wird, die ganz einfach „Treiber“ bedeutet, und bei der man nicht fragt, ob dieser Treiber sein Arbeitsvermögen von der Natur oder von der Kunst erhalten hat, spricht dafür, dass die frühere Strenge bezüglich „Kraftmaschine“ auch in der Praxis nicht mehr empfunden wird.

Alle Gebiete der Kraftentnahme aus der Natur kamen übrigens in unsren Beispielen in Betracht; dabei zeigte sich, dass für die junge Elektrik neue Maschinengetriebe nicht erforderlich gewesen sind. Auf die Umwandlung des Arbeitsvermögens natürlicher Kraftquellen ist aber nirgend eingegangen worden, da dies nicht Aufgabe der Zwanglauflehre, sondern der theoretischen Maschinenlehre ist (s. auch Bd I). Diese ist es, die zu zeigen hat, wie gemäſs den durch die Naturwissenschaften ermittelten Naturgesetzen dabei zu verfahren ist. Da aber, wo der Bewegungszwang beginnt, setzt die Zwanglauflehre ein.

Dass diese auf dem aufgezeigten Wege zur Umfassung von so sehr vielen Maschinen, Vor- und Einrichtungen führt, darf übrigens, wenn man die Frage herauslöst, eigentlich nicht Wunder nehmen. Denn diese Wissenschaft soll ja, oder muss vielmehr ihren Grundlagen gemäſs, die Ganzheit der Zwanglaufverwendungen theoretisch erfassen. Es darf nichts davon ausser ihr fallen, sonst ist sie falsch, oder ist lückenhaft entwickelt, und daher mussten sich nothwendig die Zahlen trotz der von ihr gebrachten Vereinfachung, oder man kann auch sagen: gerade wegen dieser Vereinfachung, da sie so viele Fälle unter ein Gesetz bringt, so ungemein gross ergeben, wie unsre Beispiele gezeigt haben. Die vorgeführten Fälle wurden ausdrücklich als „Beispiele“ gegeben. In einer ausgeführten „angewandten Kinematik“ werden diese Beispiele um Vieles erweitert, und ausserdem in geordnete Reihen der Anwendungen überzuführen sein. Das wird in solcher Weise zu geschehen haben, dass auch der Raum anzudeuten ist, den die noch nicht ausgebildeten und durchgearbeiteten Abwandlungen der Hauptgedanken des Zwanglaufs einzunehmen versprechen. Dieser Abwandlungen und Vereinigungen von Einrichtungen aus verschiedenen Klassen wird es noch eine grosse Anzahl geben, mit andern Worten: es werden noch viele Maschinen für bestimmte Zwecke erfunden werden.

Das Erfinden der Maschinen geschieht aber in unsren Tagen gänzlich anders, als vor zwei Jahrhunderten. Damals war von Zwanglaufgesetzen geradezu nichts bekannt. Vielmehr mussten damals noch viele der grundlegenden Verkettungen erst mühsam für den Einzelfall ergrübelt, erschlossen, erkämpft werden. Man braucht nur die oben vorgenommene Zerlegung der Wattischen Dampfmaschine in ihre kinematischen Theilgruppen, S. 638, anzusehen, um den Unterschied von damals und jetzt einzusehen. Watt musste den grösseren Theil jener einundzwanzig Theilgruppen erst an sich erdenken, Schritt für Schritt, während diese selben Gruppen heute wie die Buchstaben einer geläufig gewordenen Sprache gebraucht werden und verstanden sind. Mancher spricht diese Sprache schnell, in kurzen inhaltreichen Sätzen wie oben Willan, mancher langsam, ausführlich scharf betont in jedem Buchstaben, wie viele Andere. Heute werden auf Grund dieser Kenntniss bedeutendere und wichtigere Erfindungen mit weit weniger Anstrengung, als damals die viel einfacheren gemacht. Die Geschichtsschreiber der Erfindungen übersehen aber nur

zu leicht dieses Gewachsensein des Verständnisses, diese heutige Weiterbenutzung des Bekannten gegenüber dem einstmaligen Mangel an den Erstlingsbegriffen, die erst mit und an den gesuchten Maschinen ihre erste verschwommene Formung empfiengen*). Die Kinematik hat aber die Aufgabe, in dieses Bekannte und Gewordene die wissenschaftliche Erkenntniss des Werdens und Wachsens hineinzutragen und es dadurch wissenschaftlich lehrbar, also hochschulfähig zu machen.

Werfen wir nun einen Blick zurück auf die von uns in §. 39 vorgenommene Eintheilung der Mechanismen nach ihren Zwecken, in solche für „Leitung", „Haltung", „Treibung" und „Gestaltung", so bemerken wir, dass auch Leitung und Haltung mit denselben Getriebegattungen ausgeführt werden wie die Treibung. Bald sind es Kurbel-, bald Kurven-, bald Rädertriebe, bald Flud-, bald Tracktriebe, bald Sperrtriebe, die dabei bestimmend mitwirken. Die wichtige Frage bleibt aber noch zu beantworten, wie es mit der „Gestaltung", der vierten Getriebegruppe, bestellt sei. Hierzu sei nunmehr übergegangen.

§. 104
Gestaltung

Der Zwanglauf, den die Maschinen verwirklichen, wird zu zwei unterscheidbaren Zwecken nützlich gemacht, den der Ortsänderung und den der Formänderung von Körpern. Sehr viele Maschinen benutzen wir bloss, um Körper von einem Ort zum andern zu schaffen, sei es, dass die Orte auf unsrer Erde ganz weit aus einander liegen, sei es, dass sie einander nahe liegen, wie Fluss und Ufer, ein Gebäudetheil und ein anderer. Eisenbahn, Kran, Fahrstuhl sind Beispiele; Ortsänderung ist ihr klar erkennbarer Zweck.

Eine andere grosse Reihe von Maschinen benutzen wir bloss zum Umtreiben von Wellenleitungen, die zu den mannigfachsten Betrieben bestimmt sein können. Dampf, Wasser, Pressluft, elektrischer Strom, Gas, Petroleum, Kohlenstaub usw. kann der

*) Auch in Prof. Rud. Eschers lehrreichem Vortrag über „Erfinden und Erfinder" (s. Z. für Sozialwissenschaft 1899, II, 3) ist, wie ich glaube, die starke Verschiedenheit zwischen heutigem und früherem Erfinden nicht genügend hervorgehoben; der Mafsstab ist ein gänzlich anderer geworden.



Treiber sein. Man nennt diese Maschinen ja Kraftmaschinen, oder auch wohl Umtriebsmaschinen, was vielleicht als die bessere Bezeichnung anzusehen ist. Man wird aber auch diese Maschinen zu den ortsändernden zu zählen haben, wobei Ort sich auf die Gestelltheile und Grundbauten der Maschine bezieht, gegen die einzelne Punkte ihren Ort ändern. Die Umtriebsmaschinen wären dann eine Unterabtheilung der ortsändernden Maschinen; dieser Frage der Begriffsbestimmung wird ja in der angewandten Kinematik näher zu treten sein.

Eine dritte Verwendungsart der Maschine ist die zur Formänderung von Körpern. In der ganzen gewaltigen Fabrikindustrie finden Formänderungsmaschinen ungezählte Verwendungen der allerwichtigsten Art, vom Kleinsten bis zum Gewaltigsten. Hier ist die, stets vor sich gehende Ortsänderung verbunden mit Formänderung. Auf deren theoretische Grundlage haben wir nunmehr einzugehen. Zunächst liegt hier eine überaus wichtige „praktische“, schon bestehende Eintheilung vor. Denn die beabsichtigten mechanischen Formänderungen an Körpern bilden die Aufgabe der mechanischen Technologie.

Karmarsch leitet seine „Geschichte der Technologie“*) damit ein, dass er sagt: „Man kann die Technologie am füglichsten definiren als die systematische Beschreibung und rationelle Erklärung derjenigen Verfahrungsweisen, vermöge welcher die rohen Naturprodukte zu Gegenständen des physischen Gebrauchs durch menschlichen Kunstfleiss verarbeitet werden“. Aus dem Verlauf des trefflichen Buches geht hervor, dass sein Verfasser vorwiegend, wenn auch nicht ausschliesslich, die mechanischen Verfahrungsweisen im Auge hatte. Die Einschränkung auf „rohe Naturprodukte“ brauchte eigentlich nicht stattzufinden, da auch sehr feine fertige Gebilde manchmal durch ein neu anhebendes Verfahren umzubilden sind. Lässt man die Einschränkung weg, so sieht man, dass es sich um die Aufgabe handelt, die wir diejenige der

„Gestaltung“

genannt haben. Wir hatten dabei die zwangläufige Einwirkung im Auge. Karmarsch meint aber die ausserhalb der Maschine

*) Gesch. d. Technologie seit Mitte d. 18ten Jahrh., München 1872. Merkwürdigerweise fehlt darin, wie auch in Karmarschs „Handbuch der m. Technologie“, auch in dessen fünfter, von Hartig herausgegebenen Auflage das ganze Mühlenwesen.

stattfindende noch mit. Unsre Betrachtung würde also, um es so zu nennen, die der Maschinen-Technologie sein. Diese einerseits und eine beides umfassende mechanische Technologie andrerseits haben aber so zahlreiche Grundsätze völlig gemein, dass die Grenze nicht scharf gezogen zu werden braucht oder gezogen werden kann.

§. 105

Werkzeug und Werkstück

Wenn Körper rein mechanisch und ausserdem zwangläufig umgestaltet werden sollen, so führt man dies so aus, dass man einen Theil ihres stofflichen Bestandes entweder

a) abtrennt, oder
b) nur verlegt.

Dies geschieht in beiden Fällen durch einen Körper, der nach Uebereinkommen „Werkzeug“ genannt wird. Den zu bearbeitenden, also zu gestaltenden Körper nannte ich das „Werkstück“ *), ein Vorschlag, der rasch allgemeine Annahme bei uns gefunden hat. Die Frage, was mit den abgetrennten Theilen oder Theilchen des Werkstückes geschieht, kann noch offen bleiben. Denkt man sich nun das Beseitigen oder Verlegen in der Maschine wirklich ausgeführt, darauf aber die Bewegung der Maschine fortgesetzt oder wiederholt, so bilden Werkzeug und Werkstück ein kinematisches Elementenpaar; denn das eine vollzieht gegen das andere unter Umhüllung oder gar Umschliessung, d. i. unter höherer, oder unter niederer Paarung, gezwungenermafsen eine einzige bestimmte Bewegung. Dabei ist es gleichgültig, ob das aus Werkzeug und Werkstück gebildete Paar kraftschlüssig, paarschlüssig, oder kettenschlüssig**) zusammengehalten ist. Hierdurch gelangen wir zu folgendem Satz über die Gestaltung von Körpern in der Maschine:

XXIII. Das Werkstück tritt als ein Theil eines kinematischen Kettengliedes oder als ganzes Glied der kinematischen Kette in die Maschine und geht mit dem Werkzeug eine Paarung oder eine

*) S. §. 131 des I. Bandes, S. 482. Den Franzosen und Engländern fehlt noch ein kurzer Ausdruck für den „zu gestaltenden Körper“.

**) S. Bd. I, S. 171, 181, 230.

Verkettung ein, bei der es vermöge der stofflichen Beschaffenheit des Werkzeuges seine ursprüngliche Form mit derjenigen Umhüllungsform vertauscht, die seiner Paarung und Verkettung mit dem Werkzeug zukommt.

Nach diesem Satze kann man deutlich verschiedene Formen unterscheiden, in denen die Einwirkung des Werkzeuges auf das Werkstück vor sich geht. Die Hauptformen folgen aus den drei Grundbeschaffenheiten der kinematischen Elemente, die wir als solche oben, §. 31, erkannt haben. Wir fanden, dass die Maschine nach ihrer vollständigen Zerlegung in ihre letzten gegenseitig bewegbaren Theile bestehe aus:

starren Elementen,
Zugelementen oder Tracken,
Druckelementen oder Fluden.

Dieser Dreiheit zufolge gibt es neun wesentliche oder Hauptformen der Beziehung zwischen Werkzeug und Werkstück, wie folgende gedrängte Zusammenstellung vor Augen führt.

	Das Werkzeug ist:	*Das Werkstück ist:*	*Beispiel:*
1)	starr	weniger starr	Meissel: Drehstück
2)	„	ein Track	Haspel: Garn
3)	„	ein Flud	Mundstück: Strahl
4)	ein Track	ein Track	Zwei Spinnfäden
5)	„	ein Flud	Draht: Zinkbad
6)	„	starr	Schleifriemen: Messingstück
7)	ein Flud	ein Flud	Strahlwerfer (S. 159)
8)	„	ein Track	Zeugfärberei
9)	„	starr	Sandstrahlgebläse.

In diesen neun Einwirkungsarten findet die Zweckerfüllung des Werkzeugs in der Maschine statt. Prüft man die mechanischen Handbearbeitungen, so bemerkt man, dass auch hier eben dieselben dreimal drei Zusammenwirkungen bestehen, sodass die gegebene Eintheilung auf das ganze Gebiet der Gestaltungslehre Anwendung finden kann.

Es könnte den Anschein haben, als durchbreche diese Werkzeugtheorie die Grundlagen, auf denen die Elementenpaarung und -Verkettung aufgebaut wurde, indem z. B. bei der Zusammen-

wirkung der Stücke unter (1) das eine der Elemente, das Werkzeug, Stofftheile seines Partners ablöst und wegschafft, weil es, das Werkzeug, härter und vielleicht schneidig ist. Als müsste man somit zwischen Elementen aus mehr oder weniger nachgiebigem Stoff unterscheiden. Das aber würde ein Rückfall in das alte, bloss äusserliche Wahrnehmungsverfahren, die Empirie, sein. Die Durchbrechung der Grundlagen ist aber bloss scheinbar.

XXIV. Alle Elementenpaare ohne Ausnahme besitzen die Eigenschaft, dass ihre Partner vermöge der in Anspruch genommenen inneren oder „latenten“ Kräfte aufeinander formändernd einwirken*).

Denn ihre gegenseitigen Bewegungen gehen unter Reibung und Pressung vor sich und bewirken deshalb Abnutzung, Verschiebung, auch Losreissung von Theilchen, ja Theilen — man besichtige nur einmal eine, um $^1/_2$ kg abgenutzte Lagerschale —. Die angewandte Mechanik lehrte die Reibung in den Paaren und die daraus folgenden Abnutzungen kennen und ermitteln, die Bewegungsaufgaben der gegebenen Maschine gehören ja der Mechanik an. Die formändernde Aufeinanderwirkung der Elemente sucht aber der Maschinen-Erbauer da, wo er sie nicht wünscht, mit allerlei Mitteln einzuschränken — man denke nur an die Rollenlager und deren schwierige Herstellung, vergl. S. 474 — und durch „Nachstellung“ auszugleichen. Da aber, wo er diese formändernden Einwirkungen wünscht, sucht er im Gegentheil sie zu verstärken. Die Schmirgel- oder die Karborundwalze**) z. B., geometrisch völlig gleich den Wälzchen im Rollenlager, benutzt er zu Formänderungen durch gleitende Reibung an ganz demselben Gebilde „Drehzapfen“, an dem die Lagerrollen die gleitende Reibung möglichst fern halten sollen. In dem einen Falle wird also absichtlich verstärkt, was im andern absichtlich abgeschwächt wird, was aber in beiden Fällen als Ureigenthümlichkeit vorhanden ist. Somit besteht in den Aufeinanderwirkungen der Partner eines Elementenpaars nicht ein Unterschied bezüglich der

*) S. Bd. I, S. 85, wo die Werkzeugwirkung schon vorgesehen wurde.

**) Der Thonedelstein, der in unsrer Sprache Korund heisst (von hindostanisch *kurand*), wird im Englischen *corundum* genannt, wovon *carborundum* (Karbo-Korund) abgeleitet ist; in unsrer Sprache muss daher das Erzeugniss „Karborund“, nicht „Karborundum“ genannt werden, wie Manche dem Amerikaner nachsprechen.

Stoffbeseitigung an sich, sondern nur bezüglich des Grades dieser Stoffbeseitigung.

Ganz ähnlich verhält es sich bezüglich der Stoffverlegung unter (2), (3) und weiterhin. Eine Stoffverschiebung, Verdrückung, Stauchung, Streckung findet, wie die feinen Festigkeitsversuche der Versuchsanstalten erweisen, immer in gewissem Grade statt, wird aber da, wo die Formen wesentlich geändert werden sollen, absichtlich vergrössert, während sie da, wo Starrheit kinematische Grundbedingung ist, durch geeignete Wahl von Baustoff und Abmessungen ganz klein gehalten werden. Dieselben Walzen, die vorhin als Reibungsverminderer anzuführen waren, dienen im Plattenwalzwerk, Fig. 260, zur Umformung des Stahlblockes, im Biegwalzwerk, Fig. 456, zum Krümmen der Blechtafel; die stählernen Kugelrollen aus den Lagern der Fahrradachse dienen beim Polte'schen Verfahren*) zum Auswalzen und Umgestalten von Messingröhren; die Metallscheere, welche schwere Eisenstäbe zertheilt, Fig. 464, ist grundsätzlich ein Keilschubtrieb. Kurz, das Werkzeug erweist sich als an sich ununterscheidbar von anderen Gliedern und Elementen aus kinematischen Ketten, ganz wie die Sätze XXIII und XXIV es darlegen**).

---

*) Poltes Armaturen- und Patronenfabrik in Sudenburg-Magdeburg.

**) Hartig gibt in seinen, schon oben (S. 247) angezogenen „Studien in der Praxis des K. Pat.-Amtes" folgende Begriffsbestimmung vom Werkzeug:

> „Werkzeug ist ein körperliches lebloses Gebilde, welches an einem anderen Körper (Werkstoff, Werkstück), denselben berührend, dessen Gebrauchswerth unter Umsetzung mechanischer Arbeit abändern hilft, ohne hierbei im Werkstück selbst aufzugehen oder auf andere Art zu fortgesetzter Bethätigung unfähig zu werden."

Diese Begriffsbestimmung ist weniger brauchbar, als ihr Verfasser annimmt. Sie beschreibt gewisse Eigenschaften des Werkzeuges vom obigen Sinne, ohne uns aber zu befähigen, dasselbe in Gedanken herzustellen oder genauer zu bezeichnen, da sie nämlich den Begriff ausserordentlich erweitert, und zwar so sehr, dass seine Grenzen kaum noch wahrnehmbar sind. Nach Hartig sind Regen, Schnee und Wind auch Werkzeuge, desgleichen der Blitz; alle vier sind körperlich, leblos, und ändern, wenn sie auf ein Stück fallen, unter Umsetzung mechanischer Arbeit dessen Gebrauchswerth, gehen nicht in ihm auf und bleiben noch zu allerlei fähig; auch das Einpackpapier, auch eine feste Ballenhülle, die Wolle umschliesst, gehört nach ihm zu den Werkzeugen; aber ein Meissel, ein Schraubenzieher nicht, wenn beide nicht das Werkstück berühren. Dies hängt offenbar zusammen mit der schon früher hervorgehobenen sonderbaren Ansicht des geschätzten Technologen, dass eine nicht arbeitende Maschine keine Maschine mehr sei. Und dann: „leblos"?. Sind nicht die Hände, die Finger oftmals

§. 106

Ver- und Befestigung

Der einfachste Fall der Gestaltung liegt vor, wenn Werkzeug und Werkstück jedes ein einzelnes körperliches Gebilde darstellen; sie sind dann nach unsrem Satz XXIII ein gestaltendes

---

Werkzeuge? Man denke nur an den Töpfer vor der Drehscheibe. Ja, und aus Urzeiten sind uns thönerne Gefässe erhalten, die lange vor der Erfindung der Scheibe allein mit den Fingern geformt und mit den Fingernägeln „gravirt" wurden. Finger und Zähne waren geradezu die ersten Werkzeuge und sind bis heute solche geblieben. Braucht nicht auch der Gärtner seine Füsse, um Pfade in das umgegrabene Beet zu treten? Werden nicht mit den Füssen die Trauben gestampft im Süden und zum Theil noch bei uns? und der Teig beim Bäcker? Dienen nicht die Hufe der Büffel und Pferde im Süden und im Morgenland zum Dreschen? Die Bedingung „leblos" ist also auch nicht zu halten. Wenn Hartig übrigens Voraussetzungen macht, die schon eine Begriffsbestimmung verborgen in sich enthalten, so ist zwar innere Uebereinstimmung seiner Schlusssätze erzielbar; aber es bleibt dann ganz fraglich, was in aller Strenge gemeint sei. Das Kennzeichen, wonach das Werkzeug „den Werkstoff berührend" dessen Gebrauchswerth abändern helfe, muss dem Praktiker auch merkwürdig vorkommen, da der Meissel, der nur das Werkstück „berührt", die Umformungswirkung, zu der er bestimmt ist, gar nicht ausübt; der Meissel soll vielmehr eindringen, zwischen die Theilchen treten, solche wegdrängen, wegschieben, absprengen, was durch die Bezeichnung „berühren" nicht ausgedrückt wird. Die Weitgrenzigkeit von Hartigs Deutung des Werkzeuges hängt wohl mit dessen erkennbarem Bestreben zusammen, die ältere, heute nicht mehr haltbare Anschauung zu retten, nach der jede Maschine ein Werkzeug besässe; deshalb steht Hartig auch nicht an, allenfalls die ganze Lokomotive als ein Werkzeug aufzufassen (S. 21), womit denn doch alle Bestimmtheit des Begriffes aufgelöst ist. Dass er den „Gebrauchswerth" des Werkstückes in den Deutungsplan aufgenommen hat, ist keineswegs glücklich zu nennen; denn die Anschauungen über Werth können ja himmelweit auseinander gehen, da sie Urtheile sind. Der Satz versagt endlich da, wo das Werkzeug gebraucht wird, um das Werkstück zu beseitigen, weil es hinderlich ist. Wenn Mannschaften in einem Urwald hinter Kamerun mit ausgezeichneten Werkzeugen Bäume fällen, um dadurch einen Weg zu bahnen, so geschieht das nicht, um den Gebrauchswerth der Stämme zu erhöhen, wie etwa bei Bearbeitung von Bauhölzern auf dem Zimmerplatz, sondern bloss, um sie aus dem Wege zu schaffen; sie haben für die Vordringenden und Arbeitenden das Gegentheil von Gebrauchswerth. Die Gesteinsbohrmaschine arbeitet im Tunnel mit ausgezeichneten Werkzeugen an dem Felsgestein, bloss um es wegzuschaffen. Die mächtige Dampf-Grabemaschine, die mit ihrem gewaltigen Stahlrechen den Flussboden aufreisst und Felsblöcke heraufbringt, ändert deren Gerbauchswerth nicht ab, da sie gar keinen haben,

Elementenpaar. Bezüglich der Betreibung eines solchen, sei es in der Maschine, sei es bei der Handarbeit, auch derjenigen der frühesten Entwicklungsstufen der Menschheit, sind drei Fälle möglich:

1) das Werkstück ruht, das Werkzeug wird bewegt,
2) das Werkzeug ruht, das Werkstück wird bewegt,
3) Werkzeug und Werkstück werden zugleich bewegt.

Das „Ruhen", d. i. das Unbewegtsein eines Körpers in einem gegebenen Raumgebiet hatte früh wohl wesentlich seine Geltung gegenüber der Erde, griechisch Chthōn (χθών). Dies führt sprachlich, wie es auch bei andern Erörterungen geführt hat, zu der Bezeichnung „chthonisch"; d. h. man könnte, gemäfs wissenschaftlichen Vorausgängen sagen, das ruhende von den beiden Stücken sei „chthonisch" angebracht oder gelagert. Für die Technik würde sich das indessen nicht gut eignen. Ich ziehe deshalb vor, auf die „Feste", „Erdfeste", (altfränkisch „Veste") Bezug zu nehmen und für „chthonisch" zu sagen: „verfestigt". Das erlaubt denn auch sofort, die Aussage auszudehnen auf diejenigen Fälle, wo das Raumgebiet, gegen welches das eine der Stücke sich ruhend verhält, selbst beweglich ist, wie z. B. im Schiff, Fuhrwerk, Bahnzug.

Das Verfestigen kann unter Umständen geschehen durch blosses Hinlegen des in die Ruhelage zu versetzenden Körpers,

---

sie schafft sie nach ihrer Loslösung irgendwohin weg. Die Baggermaschine will das Geschiebe, ihr Werkstück, das sie mit tüchtigen Werkzeugen angreift, nur beseitigen, aus dem Wege räumen. Der „abyssinische Brunnen", der in den Boden geschraubt wird und in diesen ein Gewinde schneidet, wie irgend ein Gewindeschneidzeug, ändert an dem Gebrauchswerth des Bodens nichts, es soll bloss hindurchdringen zum Wasser. Man könnte noch viel weiter gehen in Beispielen, zu solchen z. B., bei denen die Späne besser sind, als der Block, es sich also um den Gebrauchswerth des letzteren gar nicht handelt; das Gesagte wird aber schon genügen. Der versteckte Uebelstand in Hartigs Satz liegt darin, dass sein Verfasser im Grunde genommen den „Zweck" des Werkzeugs in diesen Begriff hineinzieht. Wie wenig das am Platze bei dieser Begriffsbestimmung ist, haben wir oben, S. 243, gesehen; eine solche muss vor allem angeben, was „immer ist" an dem Gegenstand. Das Werthändern ist aber nicht immer Wirkung des Werkzeugs, bildet somit nicht sein Wesen. Bemerkenswerth scheint mir, dass die Formen, und — nach Hartig — der Ort des Werkstückes, an denen doch, da sie fast allein im Werthbegriff vorkommen, das Werkzeug etwas ändern soll, gar nicht besonders genannt sind. So ist es mir denn nicht gelungen, der Hartig'schen Deutung Vortheile für die Werkzeugtheorie abzugewinnen.

den man dann also der Schwere überlässt; reicht diese nicht aus, so muss etwa die Muskelkraft der unbeschäftigten Hand oder eines Gehülfen zugezogen werden; auch das Festbinden an einem an sich ruhenden Körper passt mitunter. Mit der steigenden Entwicklung gelangte man später zu gewissen Vorrichtungen oder ausgebildeten Geräthen zum Verfestigen. Man kann sie „Verfester“ nennen.

Diese Verfester haben der bisherigen Technologie immer gewisse Unbequemlichkeiten bereitet, da sie sich gar schlecht in die gebräuchlichen Eintheilungen einfügen liessen. Die Einen halten sie für Werkzeuge*), die Andern für Geräthe**), wieder Andere ordnen sie gar nicht ein***), sondern beschreiben sie nur frischweg. Die Zahl der Verfester ist nicht gross; in Arten sind sie zwar mannigfaltig, stehen aber in dieser Beziehung sehr weit hinter den Werkzeugen zurück, da ihre Zwecke so ungemein viel einfacher sind; wir finden hier also endlich ein Gebilde, das einmal nicht in die grossen Zahlen läuft.

Verfester für das Werkstück. Der einfachste, aber für viele Werkstätten ausserordentlich wichtige, ist die Werkbank, fest und schwer ausgeführt; soll sie fahrbar sein, wie für gewisse Arbeiten auf der Strasse, so ist sie weit weniger brauchbar, als die in der Werkstatt. Hauptverfester an und auf der Werkbank für Metallarbeiten ist der Schraubstock, der im letzten Vierteljahrhundert vielfach umgemodelt, auch sogar der namengebenden Schraube beraubt worden ist. An der Hobelbank des Schreiners†) sind meist zwei, dem Schraubstock verwandte sog. Zangen als Hülfsverfester angebracht; ein anderer ihr zugehöriger Verfester ist der Bankhaken, dessen einer 7 ähnliche Hauptform der bisherigen Werkzeugtheorie gar nicht gehorcht. Ein weiterer Hülfsverfester für die Hobelbank ist noch der „Knecht“, ein als laufendes Gesperre ausgeführter Ständer zum Stützen langer Bretter. Ein für Küfer, Stellmacher und andere Holzarbeiter unschätzbarer Verfester ist die Schnitzbank, deren Zange der Arbeitende mit den Füssen schliesst, um das Werkstück festzulegen. Beim Metzger dient der Haublock, beim Gerber der Gerberbock, beim Schmied der Ambos als Verfester für

---

*) Hartig zweifellos nach seiner obigen Deutung des Werkzeuges, Kick ausdrücklich, s. Kick u. Gintl, Techn. W. B. VIII S. 27; Hoyer nennt sie ausweichend passive Werkzeuge.

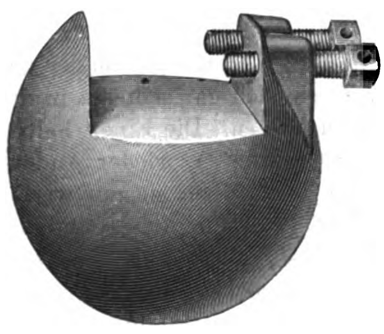
**) Karmarsch, Gesch. d. Technologie und Handbuch der Technologie.

***) Appletons Cyclopaedia of Applied Mechanics.

†) Auf der Licksternwarte in Kalifornien steht innen gleich neben der Hauptpforte eine alte deutsche Hobelbank; ihrer hatte sich der, unter der Kuppel begrabene Stifter der grossartigen Anlage, welcher als schlichter Schreiner aus Deutschland eingewandert war, bedient. Nicht mit Unrecht dient hier ein Verfester als Sinnbild der mit aller Kunst fest aufgebauten Unterlage der Himmels-Schaurohre!

das lose aufgelegte, nur leicht gehaltene Werkstück. Ein merkwürdiger Verfester ist die „Kugel“ des Edelschmieds, Graveurs, Stempelschneiders, auch Bildhauers, der kleine Figuren arbeitet; die nicht zu glatt gearbeitete Kugel, s. Fig. 588, passt in eine fest aufgestellte Schale, haftet darin mit Reibung, und gestattet vor allem, dem eingespannten Stück beliebige Neigungen zu geben. Der Stickrahmen, Fig. 589, die Nähschraube, der Nähstein sind Verfester für Trackgebilde. Zu den entwicklungsgeschichtlich merkwürdigsten gehört aber der menschliche Körper selbst. Das Webegeräth war nicht zuerst zwischen Baumstämmen, wie gewöhnlich angenommen wird, sondern am menschlichen Körper angebracht; Fig. 590 zeigt, wie dies in Tonkin geschieht, aber auch, wie es im ganzen Sunda-Archipel in hergebrachtem Gebrauch ist); spät erst wird der Webstuhl für sich aufgestellt. Als das natürliche, unentreissbare Raumgebiet sah der Mensch, der an beweglichen kleineren Werkstücken arbeitete, den eigenen Körper an; erst für grössere Werkstücke suchte er es ausser sich. Unsre Schneider und Schuster haben das uralte Verfahren noch beibehalten. Die Neuseeländer, Männer wie Frauen, fertigen ohne alles Verfestergeräth ihre grossen geschmückten Mäntel aus den ungesponnenen Fäden des Phormiumflachses auf dem Schofs an. Man denke auch an den Strickstrumpf, den erst die neue Strickmaschine ausserhalb des Menschen verfestigt.*

Fig. 588 Graveur-Kugel



*Verfester für das Werkzeug. Sie sind weit seltener als die vorstehenden. Der liegende Wetzstein, den auch unsre Handwerker noch viel benutzen, stellt ein ruhendes, bloss durch die Schwere verfestigtes Werkzeug dar. Bemerkenswerth ist die, neuerdings durchgedrungene Beobachtung in Indien, dass der Inder, wie mit anderem Europäischen, auch mit dem schönen, drehbaren Schleifstein nicht zurechtkommt, ihn unrund macht, Rillen hineinschleift, ihn zum Platzen bringt durch unvernünftiges Keilen und — aus einem Bruchstück wieder den liegenden Stein macht, zu dem er zurückkehrt, s. Fig. 591 (a. S. 674); die grosse Geschicklichkeit des indischen Werkmanns liegt in der Ueberlieferung, nicht im eignen Scharfsinn**).*

*) Der „Zeugbaum“, den die Weberin auf dem Schofs hat, wird von einem Gestricke gehalten, das ihr um die Hüften geht und gestattet, die Webekette mit den Füssen fest anzuspannen. Auf Java, wo die Kultur höher ist, dient statt dieses Gestrickes ein sauber ausgearbeitetes Tragscheit. Zur Beruhigung des Lesers bemerke ich, dass die junge Javanerin, von der ich mir die Handhabung des Webegeräths zeigen liess, ganz bedeutend hübscher war, als die hierneben nach der Pariser *Illustration* dargestellte Tochter des himmlischen Reiches.

**) Die englische Unterrichtsbehörde hat dies eingesehen und richtet jetzt die technischen Schulen in dem grossen indischen Reiche so ein, dass dem Lehrling nur ganz schlichte, mit den einfachsten Mitteln von ihm

Fig. 589 Herstellung von gold- und schmucksteinreichen Stickereien in Delhi

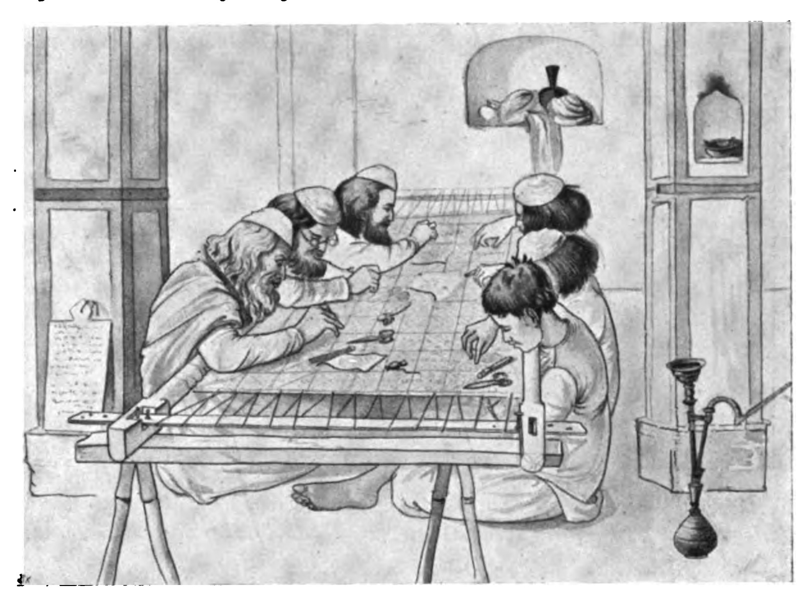
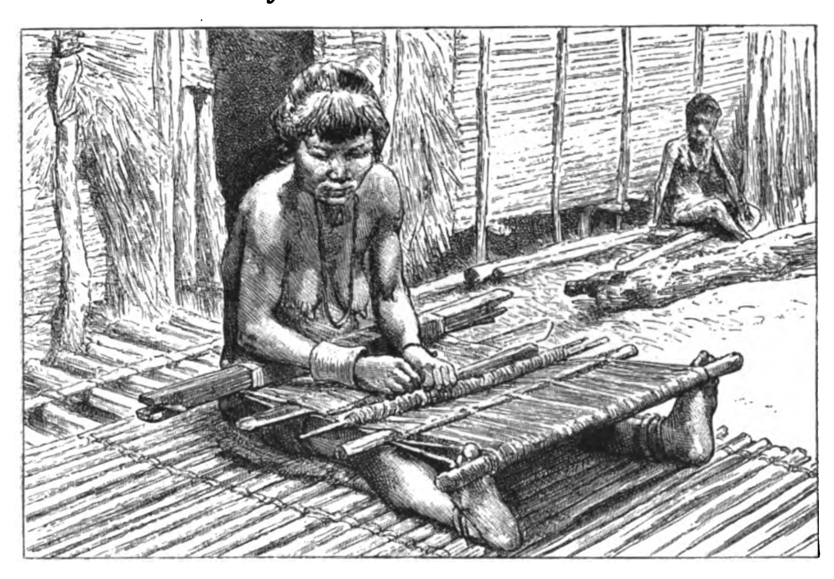


Fig. 590 Das Weben in Tonkin



selbst herstellbare Hülfsgeräthe bekannt gemacht werden; vielleicht ein Wink für unsre Kolonialverwaltung.

Unsre und andere Küfer (auch die chinesischen) hobeln die, schwer einzuspannende, weil zwiefach gerundete Fassdaube auf einem feststehenden, die Gleitfläche schräge nach oben kehrenden Hobel; die Kohlhäupter werden auf einem liegenden umgewendeten Hobel klein geschnitten. Der Ambos dient gelegentlich auch als Verfester für ein Werkzeug, z. B. den „Abschrot", oder das „Gesenk". Die Reibe wird fast ausnahmslos ruhend aufgestellt, mit Muskelkraft verfestigt, während das Werkstück gegen sie bewegt wird. In der indischen und der malayischen Küche ist das „Standmesser", wie ich es nennen möchte, allgemein im Gebrauch, und zwar in zwei Formen. In der einen, siehe Fig. 592), dient es zum Entschuppen, auch Zerlegen der Fische, in der zweiten, Fig. 593, links eine sichelförmige*

Fig. 591

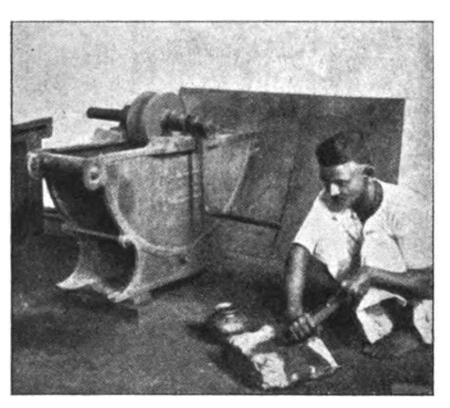


Fig. 592 Standmesser



Klinge, rechts eine sternförmige Rappe, wird es in Tausenden und aber Tausenden von Ausführungen zum Zerlegen und darauf folgenden Zerreiben

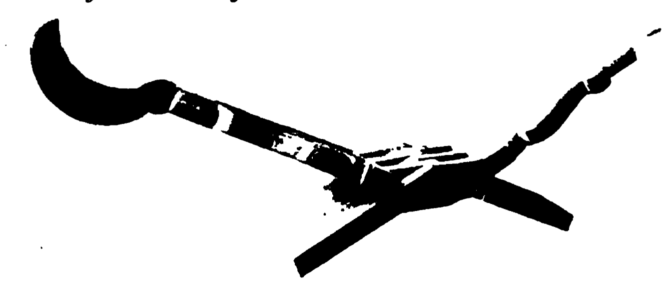
---

*) Nach einem, in meinem Besitz befindlichen Gemälde eines indischen Mal-Künstlers.

der frischen Kokoskerne benutzt. Stets wird das Standmesser auf die eine oder andere Weise durch das Körpergewicht des Benutzers verfestigt).*



Fig. 593 Standgeräth zum Zerkleinern der Kokoskerne



*Ein anderes verfestigtes Werkzeug ist der Kokosspiess, ein rund zugespitzter kurzer Spiess aus hartem Holz, fest in den Boden eingekeilt, Spitze nach oben, gegen die nun die mit beiden Händen gefasste, noch mit ihrem dicken Bast umwachsene Nuss gegestossen wird, wieder und wieder bis der Bast heruntergearbeitet ist**).*

Vergleicht man die vorgeführten Benutzungen eines verfestigten statt beweglichen Werkzeuges untereinander, so erkennt man, dass es sich in den meisten Fällen um Werkstücke handelt, die man nur schlecht oder garnicht einspannen kann. Auch sind mehrere derselben, da sie zu menschlicher Nahrung dienen sollen, besonders säuberlich zu behandeln, was am besten und leichtesten mit den Händen gelingt.

Hier fragt sich aber noch, welche von den beiden Anbringungsarten der beiden Elemente die ältere in der Entwicklungsfolge der menschlichen Kunstfertigkeiten ist. Die Antwort muss lauten: dass die Verfestigung des Werkzeuges bei Bewegtwerden des Werkstückes das ältere Verfahren

---

*) Wie das vorige Geräth wird auch dieses hindostanische, gemäfs Angaben von befragten englischen Beamten, *Aruvamani* genannt; für richtiger halte ich *Arurhamani*, was auf Rittlingssitzen hinweisen würde; hindostanisch *ärürh* ist = rittlings. In Batavia sah ich das Geräth in Pferdchenform, nach wie vor ganz niedrig ausgeführt, auch Muster im Batavia-Museum.

**) Der Kokosspiess (s. m. Reise quer durch Indien, Berlin 1885, S. 285) leistet die vortrefflichsten Dienste in der ganzen Südsee und der Sunda-Inselwelt. Hartig, der in seinen „Studien“ meiner Mittheilung Erwähnung thut, bespricht sie etwas leichthin in seiner ungewöhnlichen, an logischen Formeln reichen Sprache, berichtet aber ganz irrig, dass ich gesagt, die Nussschale würde damit aufgeschlagen; letzteres geschieht am Boden mit einem Stein; es handelt sich vielmehr um den dicken, die harte Schale umhüllenden faserigen Bast.

ist. Obwohl dies für den Techniker unsrer Zeit unerwartet sein möchte, ist es doch richtig. Denn bei diesem zweiten Verfahren hatte der Mensch auf seiner tiefen Entwicklungsstufe nur einen einzigen Gegenstand herbeizuschaffen, brauchte bloss diesen einen Gegenstand zu haben, zu besitzen, fand aber in der Natur, am Baum, am Fels, auf der harten Erde das zur Umformung, sei es Zerbrechen, Zerquetschen, Zermalmen geeignete Werkzeug ruhend, gleichsam seiner wartend, bereits vor. Die Beobachtung der Thiere zeigt auch bei diesen ganz denselben Vorgang, dasselbe Verfahren. Dieser Untersuchung weiter zu folgen, ist hier nicht der Ort.

Ist das Werkstück oder das Werkzeug mit einem an sich bewegten Theil zeitweis fest zu verbinden, so werden dazu ähnliche Mittel angewandt wie bei den Verfestern. Was aber dabei geschieht, ist etwas Anderes, sich jedenfalls Unterscheidendes; man nennt es deshalb das „Be"-festigen. Dies hat immer etwas Vorübergehendes, leicht Aufhebbares, wie sich deutlich an solchen Befestigungsvorrichtungen kund gibt, so an den Bohrfuttern, Fig. 309 und 310, deren letzteres unmittelbar mit der Hand festgeschlossen werden kann; man vergl. auch den Parallelschraubstock für Hobelmaschinen, Fig. 306, der mittelst einer kleinen Handkurbel angezogen wird. Auf die heutige Ausbildung dieser Spanner wurde schon früher hingewiesen.

Verfestigung der Maschinen. Sind Werkstück und Werkzeug beide bewegt, wie der dritte der oben unterschiedenen Fälle voraussetzt, so befinden wir uns, sobald das zwangläufig geschehen soll, mitten im Gebiet der Maschine. Das „ruhende" Glied das Mechanismus ist dann zu verfestigen, man sagt: zu fundamentiren, mit Grundbau zu versehen, d. i. ganz das, was wir oben vorübergehend das Chthonisch-Machen nannten. In sehr vielen Fällen, vor allem, wo es sich um das Raumgebiet Erde handelt, dient ganz einfach die Schwere als Verfestigungskraft; die meisten industriellen Arbeitsmaschinen setzt man einfach auf den Boden der Werkstätte, wie z. B. mit der mächtigen Plattenpresse von Berry geschieht, s. Fig. 594. Andere setzt man auf Mauerblöcke und verbindet sie mit ihnen, sodass deren Schwere mitwirkt. Manchmal auch stützt man diese Blöcke noch seitlich durch Erdanstampfung. Wo das nicht geht, wie z. B. auf dem Raumgebiet Schiff, hat man auch zu kämpfen mit den seitlichen Bewegungen, die die Massenverlegungen in der Maschine mit sich

bringen (Schlick). In städtischen Wohnhäusern, wo die inneren Erschütterungen grösserer wie kleinerer Maschinen durch das Gestell dem Fussboden mitgetheilt werden und zum mindesten durch Weiterleitung des Geräusches sehr unangenehm stören können, ist es gelungen, durch Kautschuk- und auch Korkunterlagen, 60 mm dick, dem Uebel wirksam zu steuern*). Der Schienenstrang ist, wie schon in Bd. I gezeigt wurde (S. 231), das fest aufzustellende Glied der kinematischen Kette „Eisenbahn"; seine Bettung und innere Verbindung, Unterstopfung, seitliche Eindämmung, alles das ist nur das Verfahren, den Strang mit der Erdfeste in eine Einheit zu bringen; ganze Mannschaften sehen wir gelegentlich damit beschäftigt. Wo Massenwirkungen das Verfesten unausführbar machen, wie bei den schweren Stand- und Schiffsgeschützen, verwandelt man die Rückstossarbeit in solche zur Hebung des Stückes und in Reibungsarbeit (vergl. S. 280). Auch auf diesem Gebiet hat man indessen jüngst mit den hergebrachten Anschauungen insofern rack gebrochen, als

Fig. 594 Berry's Plattenpresse

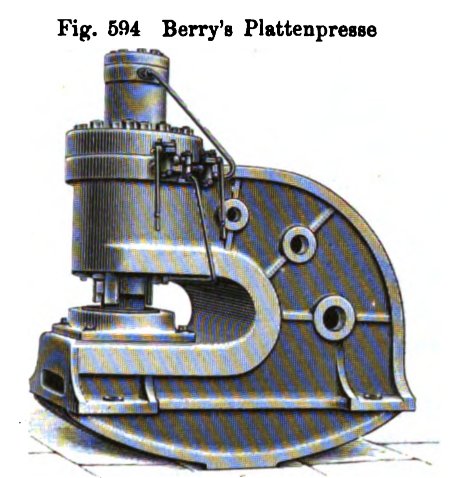
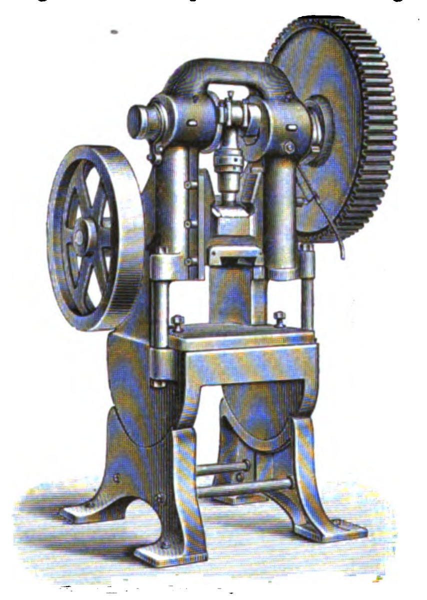


Fig. 595 Kurbelpresse von Mossberg



*) E. Zorn, Berlin N, hat das Verfahren besonders ausgebildet und liefert die erforderlichen, dauerhaft eingerahmten Platten, die bis zur Schreibmaschine herab sich nützlich erwiesen haben.

man für Feldgeschütze den Rücklauf durch wirkliche Verfestigung, Eingrabung des Laffettensporns, aufhebt. Genau auf der Gegenseite steht das, in der Borchardt'schen Pistole, s. S. 581, fein zur Anwendung gebrachte Verfahren, den Rückstoss in Massen- und Federarbeit so vollständig auszugleichen, dass der Schütze die „Laffette“ ruhig in der Faust halten kann; die Kleinheit der Geschossmasse machte dies erreichbar. Dass man übrigens immer freier wird bezüglich der Verfestigung, zeigt u. a. die in Fig. 595 (a. v. S.) dargestellte Kurbelpresse; die eigentliche Presse ruht einfach mit ihrer halbcylindrischen Unterfläche in ihrer Wiege und kann in derselben, wie die Kanone in der Laffette, je nach der Form des Werkstückes vor- oder rückwärts geneigt werden.

Wir haben nun dazu überzugehen, die oben ermittelten Beziehungen, neun an der Zahl, die zwischen Werkzeug und Werkstück bestehen, einer kurzen Ueberschau zu unterwerfen; die ausführliche Darstellung wird Sache der Technologie sein.

§. 107

Starres schneidendes Werkzeug

Versieht man ein starres Werkzeug, das mit einem weniger festen, obwohl ebenfalls starren Werkstück zu einem „gestaltenden Paare“ verbunden werden soll (s. §. 105), mit einem oder mehreren schneidigen Vorsprüngen, so können mittelst derselben Theilchen des Werkstückes beseitigt, weggeschnitten, abgetrennt werden. Die gestaltende Paarung bei diesem, am allermeisten verbreiteten Verfahren kann:

eine niedere, oder eine höhere Paarung*) sein.

Von der Bildung niederer Paare — Schraubenpaar, Drehkörperpaar und Prismenpaar — aus Werkzeug und Werkstück sei zuerst gesprochen.

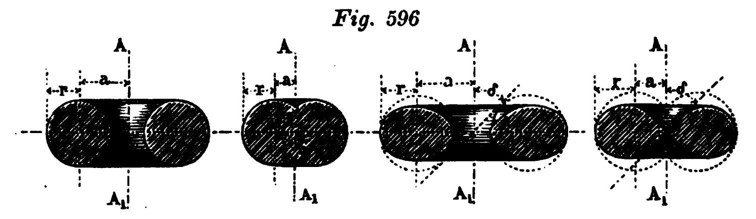
a) Niedere Paarung des Schneidwerkzeuges

1. Beispiel. Die vollständig ausgerüstete Drehbank gestattet, dem Stichel, Meissel oder Schneidstahl gegen das sich drehende Werkstück geradlinige, und wenn eine Drehplatte auf dem Schlitten vorhanden, kreisförmige

*) S. Bd. I S. 94 und 119 ff.

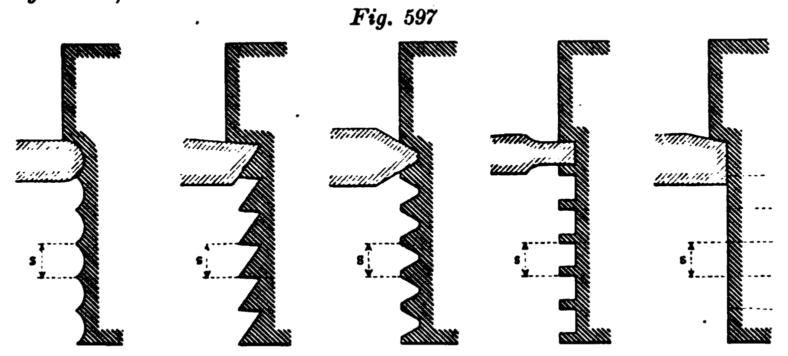
Fortschreitungen zu ertheilen. Die geradlinigen Fortschreitungen führen zu den, vom Stichel umlaufenen Regelflächen: Cylinder, Kegel, Plankegel, Hyper-

Fig. 596



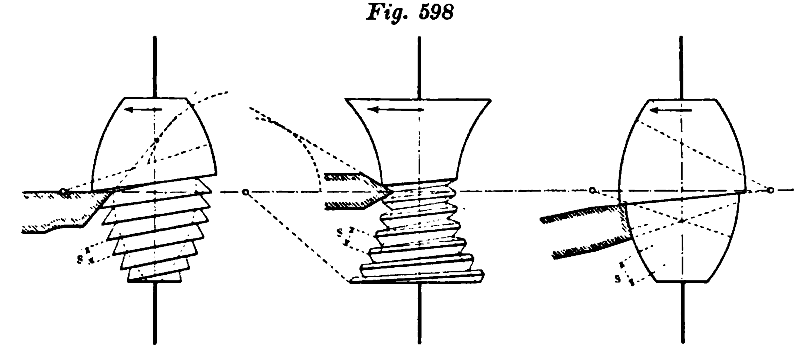
boloid, sowohl voll, als hohl, und den Regelschrauben); die kreisförmigen Fortschreitungen liefern die Globoide, deren einfachstes die Kugel ist, Fig. 596**).*

Fig. 597



Hat die Fortschreitung des Stichels in der Geraden oder im Kreis bei jeder Umdrehung des Drehstückes den Werth s, so erzeugt der Schnitt

Fig. 598



im allgemeinen Schrauben von der Steigung s, s. Fig. 597 und 598, auf Cylinder, Kegel (vergl. Fig. 310), Hyperboloid, Globoid. Bei geradlinigen

---

*) Näheres Konstrukteur und Berliner Verhandlungen 1878, S. 16.

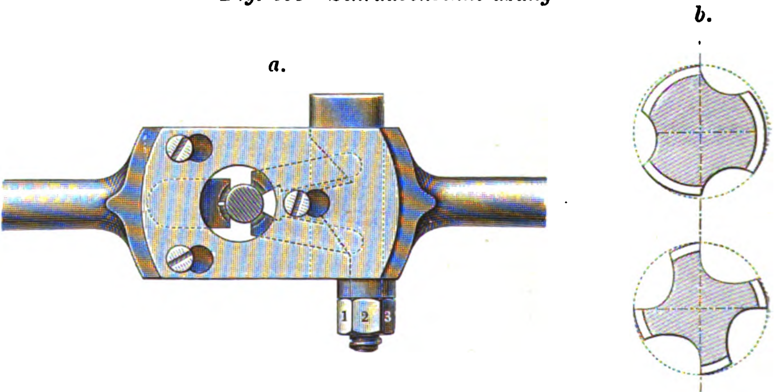
**) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 569 ff.; s. auch Dorns Kugellagerdrehbank, Berliner Verhandlungen 1807, S. 197.

Seitenkanten des Stichels werden die Schrauben Regelschrauben. Wenn die Scheitelschneide des Stichels in die Richtung des Stichelweges fällt und ausgedehnter ist, als die Steigung s, so deckt sich die, nach wie vor entstehende Schraubenfläche mit der Regel- oder Globoidfläche, in der die Bahnen der Punkte der Scheitelschneide liegen. Eine Arbeitsweise dieser Art ist das „Schlichten" mit breitem Stichel oder Schlicht-Meissel. Wie mit „gekehltem" oder „geschweiftem" Stichel bei der Steigung s = Null reichere Formen auf der Drehbank erzielt werden können, wurde bei Fig. 169 gezeigt. — Die sehr bekannt und beliebt gewordene Pittler'sche Drehbank) ist vorzugsweise auf Herstellung von Globoiden aller Arten eingerichtet; sie ist in erster Linie eine Globoidbank.*

2. Beispiel. In der gewöhnlichen Metallhobelmaschine sehen wir das Werkstück auf prismatisch hin- und hergeführtem Tisch befestigt und den Stichelträger nach jedem Schnitt auf dem Kreuzschlitten verstellt. Die Schnittflächen gehören Prismen oder allgemeinen Cylindern an, können daher auch, entsprechend der Globoidbildung im vorigen Beispiel, kreiscylindrisch gebildet werden (Rider'scher Dampfschieber); auch Kehlleisten lassen sich auf der Maschine herstellen. Für sehr grosse Werkstücke baut man die Maschine auch wohl so, dass das Werkstück verfestigt und der Stichelträger prismatisch daran entlang geführt wird (Ducommun-Dubied in Mülhausen i. E.).

3. Beispiel. Zwei oder mehr Schneiden hintereinander angreifen zu lassen, muss die Schnelle des Arbeitens wesentlich steigern. Diesen Grundsatz sehen wir angewandt in der Säge, auch der Feile, die ohne Zweifel die

Fig. 599 Schraubenschneidzung



*ältere von beiden ist, indem sie in einem rauhrandigen Stein ihr Vorbild hat**). In den Geräthen und Maschinen zum Schraubenschneiden finden*

*) Z. D. Ingenieure 1891 S. 1315.

**) Ich schliesse dies aus mehreren Umständen. Zunächst daraus, dass sich unter den uralten Feuersteinwerkzeugen rauhrandige, flachspitzige, am andern Ende gerundete Steine finden, mit denen man, das gerundete

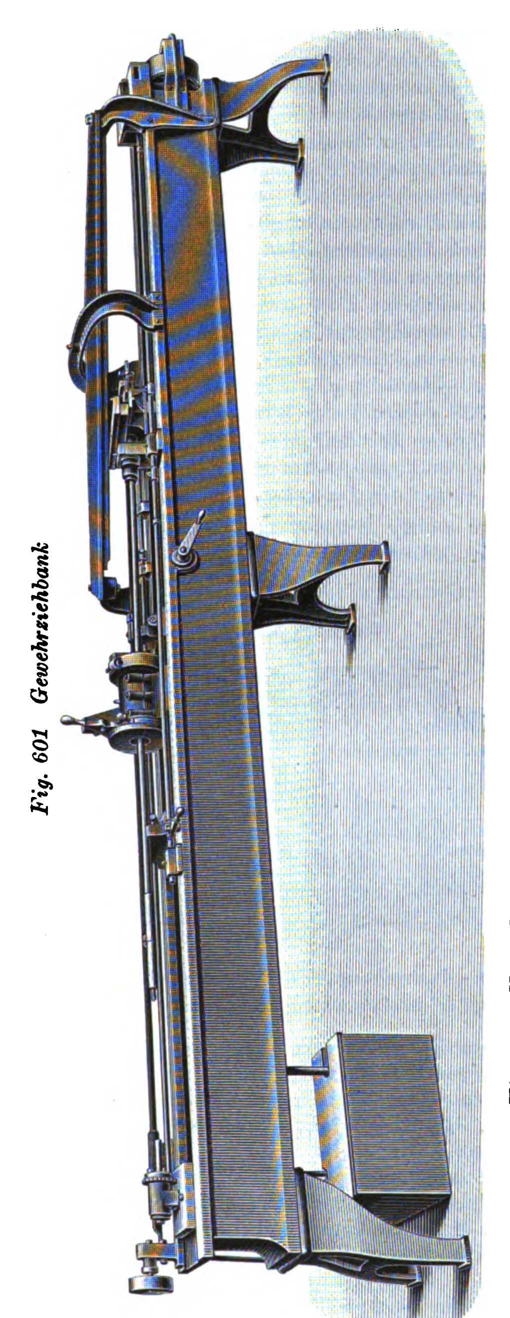


Fig. 601 Gewehrziehbank

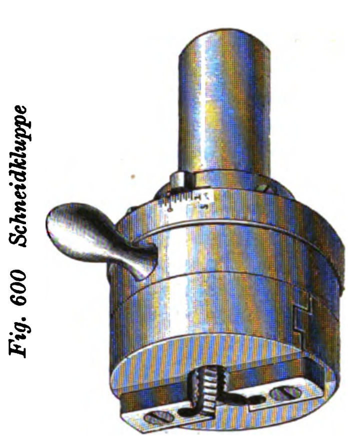


Fig. 600 Schneidkluppe

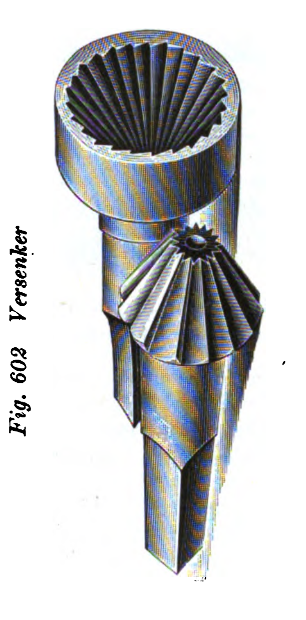


Fig. 602 Versenker

wir die Mehrschnittigkeit ebenfalls und zwar sowohl in der „Schneidkluppe“ als im „Gewindebohrer“, rheinisch „Börner“, vor. Betreffend die dargestellte ganz bekannte Withworth'sche Kluppe sei nebenbei bemerkt, dass die beiden beweglichen Backen mittelst zweier, geschickt vereinigter Keilschübe, vergl. S. 526, nachgestellt werden. — Eine vierschnittige, ganz moderne Schneidkluppe), wie ein Spannfutter gestaltet, stellt Fig. 600 (a. v. S.) dar; die Schneidbacken werden bei ihr durch zwei Spiralen radial verstellt. Das Schraubenschneiden mit Kluppe und Börner ist das am Schluss von §. 82 erwähnte Verfahren, bei dem zwei Schraubenflächen einander unter gestaltender Paarung schliesslich decken; so alt es ist, so verwickelt sind streng genommen seine geometrischen Grundlagen. Eine mehrschnittige Gewindeschneidung, aber von strenger Art, nämlich mit schrittweis eindringendem Stichel, ist das „Ziehen“ der Kanonen- und Gewehrläufe, vergl. oben Fig. 338. Eine äussere Ansicht einer Gewehrziehbank**) gibt Fig. 601 (a. v. S.), hier liegt die Leitschiene c aus Fig. 338 oberhalb des Werkzeugschlittens; das Werkstück ist auf der Bank befestigt. — Die Reibahlen, die neuerdings ungemein ausgebildet worden sind, gehören auch zu den mehrschnittigen Werkzeugen der vorliegenden Gattung, ebenso die Versenker, Fig. 602 (a. v. S.).*

4. Beispiel. Aber noch eine andere Gattung vielgebrauchter Werkzeuge gehört hierher; es sind die Bohrer. Wir besprachen sie oben, bei

Fig. 603 Gewehrlaufbohren

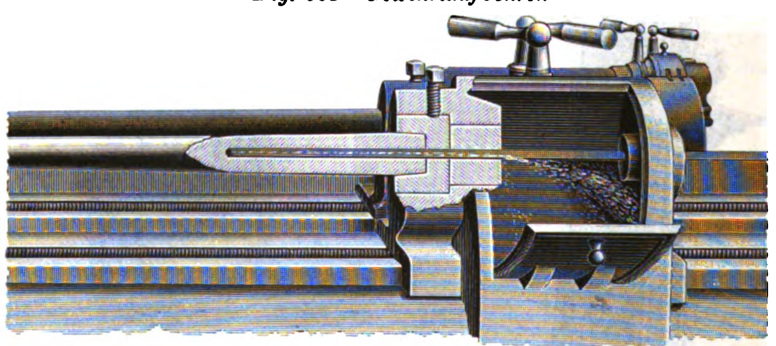


*Fig. 484 schon wegen der Span-Austreibung, die bei den sog. Spiralbohrern zu voller Ausbildung gelangt ist und durch Fig. 603 noch vollends***)*

Ende in der Handhöhlung, ganz gut Holz abraspeln kann; die Steine haben Nasenform, weshalb ich verschiedenen Sammlungsvorstehern (auch Worsae) vorschlug, sie „Nasen“ zu nennen. Griechisch heisst nämlich die Feile *Rhinee* (ῥίνη) und die Nase *Rhis*, Gen. *Rhinos* (ῥίς, ῥινός), ein Zusammentreffen, das kaum zufällig sein kann.

*) Von Chs-Churchill & Co., London, Leonard-Street; ähnlich ist die hübsche Kluppe der Gravin-Maschine-Company, Newyork, Spring Street.

**) Von Pratt & Whitney in Hartford Conn. und Ludw. Löwe & Cie in Berlin; erstere bauen auch eine verwandte Maschine zum Kanneliren schraubenförmiger Walzen.

***) Nach Scientific American vom 29. April 1899.

verdeutlicht wird; die Bohrerschnelle ist im dargestellten Fall der Gewehrlaufbohrung 20 Umläufe in der Sekunde; Lauf dreht sich, Bohrer dreht sich und schreitet fort, Oel hält auch den Lauf kühl. Die Schneiden der gut hergestellten Spiralbohrer gehören wieder dem besondern Fall an, den wir S. 542 besprachen, wo a und c einander umschliessend berühren; der Bohrspan bildet beim Arbeiten den Schieber b. Die für a und c gemeinsame Drehfläche ist üblicher Weise ein einfacher Kegel, meist vom Anlagewinkel 60°. Die beiden Schneiden werden angepresst und schieben darauf die abgelösten Theilchen vor sich her. Durch Fortsetzung dieser Betreibung entsteht das cylindrische Bohrloch, dessen Wandung den, aussen cylindrischen Bohrerschaft noch wirksam „stützt" (vergl. Bd. I S. 101). Für das geradlinige Eindringen ist es indessen noch nothwendig, dass die beiden Schneiden genau dem Bohrkegel angehören, auch genau gleich, sowie rückfallend geschliffen sind, mit andern Worten: den Zwanglaufsbedingungen möglichst genau entsprechen. Deshalb ist für das An- und Nachschleifen eine besondere Hülfsvorrichtung unerlässlich). Ein tragbares Bohrmaschinchen s. oben, S. 181.*

Fig. 604 Gehrungsschnitter



*5. Beispiel. Sollen vom Werkstück grössere Theile unzerstückelt abgetrennt, oder soll es in verschiedene, für sich brauchbare Theile zerlegt werden, so eignet sich das Verfahren des Abscheerens. Wir haben dasselbe beim Kurvenschub bezüglich Abschnittverschiebung besprochen (s. S. 534). Eine vortreffliche Holzscheere, wie man es nennen könnte, stellt der Gehrungsschnitter**) Fig. 604 vor, viel gebraucht, um Stäbe, Kehlleisten u. dergl. auf Gehrung zu schneiden.*

---

*) Ausführliches über die Spiralbohrer findet man in Dinglers Journ. 1897, Bd. 306, S. 29 ff. Bohrer und zugehöriges Schleifzeug, von den Amerikanern hoch ausgebildet, werden zur Zeit vorzugsweise von ihnen bezogen. Ueber 550 Bohrersorten, alles Spiralbohrer, sind auf dem Markt; ihre kegelförmige, in andern Fällen cylindrische Angel passt in Bohrfutter und Hülfsstücke, sodass alle diese Theile einen umfangreichen und wichtigen Waarenbestand ausmachen, welcher viele kaufmännische Vertreter rege beschäftigt. Auf der 73er Ausstellung in Wien lächelte man noch über die Sellers'sche Bohrerschleifmaschine.

**) Von H. B. Smyths Maschine Company in Smithville, New Jersey, Ver. Staaten.

Diese Beispiele mögen zunächst genügen. Die Einzelheiten der Schneiden in Bezug auf Winkel, Härte, Dauerbarmachung, unter Umständen Zusammensetzung (Hobeleisen) und die überaus wichtige Schnittschnelle hängen eng mit der stofflichen Beschaffenheit des Werkstückes zusammen. Ihre Erörterung ist Aufgabe der Technologie, die durch schulmäfsige Versuche die Verhältnisse festzustellen hat, wie manche unsrer Technologen in erfreulicher Weise thun.

b) *Höhere Paarung des Schneidwerkzeuges*

Die Drehbänke, Hobel- und Schraubenschneidmaschinen lassen sich so ausbilden, dass ihr Meissel oder Stichel, im übrigen wie sonst einschneidend, statt in unveränderlicher Entfernung von einer geometrischen Achse, in zwangläufig wechselnder Entfernung von derselben bewegt wird. Hierzu werden gewisse Getriebe erforderlich, die sodann mittelst des Schneidwerkzeuges dem Werkstück eine mannigfach abwandelbare Gestalt verleihen können. Die so eingerichteten Drehbänke nennt unser älterer gewerblicher Sprachgebrauch*):

Passigbänke,

ein Name, den man auch für die beiden andern Maschinen, wenn sie die ungewöhnlichen Formen hervorbringen, anwenden kann. Passig gestalten kann man sowohl den Quer-, als den Längsschnitt des Werkstückes, selbstverständlich also auch beide zugleich. Wir müssen uns hier bei der Weitläufigkeit des Stoffes auf kurze Angaben beschränken; die weitere Ausführung ist Sache der angewandten Kinematik.

*1. Beispielsreihe. Viel gebraucht sind die sog. Ovalwerke, am meisten das von Leonardo da Vinci (s. Bd. I S. 336), danach das von Delnest, das von Hoff, alle drei den Querschnitt des Drehstückes rein elliptisch liefernd, indem Werkzeug und Werkstück dem kardanischen Kreispaar (S. 282) angehören; Annäherung an die Ellipse liefert das Ovalwerk des Schweden Brodin (D. R.-P.). — Formenreiche Eingrabungen liefert die Guillochirmaschine**); bei dieser werden die wechselnden Abstände des Stichels von der Spindelachse durch Kurvenscheiben nach Art der Trump'schen, S. 567,*

*) S. Holtzapffel, die Drehkunst. Das Wort „Passig" hängt mit Bosse (Beule) bossen (schlagen, vergl. Ambos, älter aneboss) bossiren, bosseln zusammen.

**) Erfunden, wie Einzelne annehmen, in England durch Guillot.

erzwungen. Eine Passigbank, die namentlich cykloidische Querprofile liefert, ist die von Koch und Müller (s. Berliner Verhandlungen 1876, S. 310, wo auch Delnests Bank besprochen ist).

2. Beispielsreihe. Zu den Drehbänken für passige Längsschnitte des Werkstücks kann man auch solche Kugeldrehbänke rechnen, die mit zusammengesetzten Trieben den Zwanglauf erzielen, wie die von Weidtmann (Berliner Verhandlungen 1872, S. 243). Mancherlei Passigvorrichtungen auf der Drehbank hat das Balligdrehen der Riemscheiben entstehen lassen, wie die von Anderson, Krause, Lasch, Whitelaw (bespr. durch Hartig, Civ.-Ingenieur Bd. 17); auf der Hastie'schen Drehbank für tonnenförmige Pleuelschäfte) erhalten diese orthocykloidisches Längsprofil; beliebige Längsbegrenzungen gibt man Drehkörpern vermittelst Formplatten, die den Stichelschlitten leiten (Hartmann in Chemnitz).*

3. Beispielsreihe. Auf der Hobelmaschine bearbeitet Greenwood den Steuerungsschleifbogen kreisbogenförmig (s. Revue générale des Ch. d. fer 1881, S. 506); auch die Feilenzaine hat man auf derselben Maschine zu schruppen gesucht, die Profilkurve wird eine Kardiode. Durch Heben und Senken des Hobelstichels mittelst kleinen Schubkurbeltriebes oder auch mittelst welliger Schubkurven erzeugt man die (hölzernen) sog. Sprungleisten, die zu Bilder- und Täfelungsrahmen dienen.

4. Beispielsreihe. Die Reishauer'sche Passigbank (von Bodmer herstammend) gibt den Gewindebohrern das wellige Profil, aus dem durch Auskehlung der mehrschnittige Börner von Fig. 599 b hergestellt wird und bearbeitet zugleich den Börner längswegs kegelförmig: mit andern Mitteln wird dasselbe auf Weddings Passigbank für Schraubenbörner erzielt.

Eine sehr wichtige Werkzeuggattung bilden die als Fräsen bekannten Werkzeuge, die ebenfalls in höhere Paarung mit dem Werkstück treten.

Fräsen**)

Diese sind schneidige Zahnräder mit Zackenverzahnung und werden in Drehbewegung gegen die anzugreifende Fläche des Werkstückes geführt. Die einfachsten Fräsen sind die in Stirnradform, Fig. 605 (a. f. S.), a mit geraden, b mit schraubenförmigen Zähnen; letztere wendet man an, um das Angreifen allmählich eintreten zu lassen, wobei wieder ein Fall des Umschluss-Kurvenschubs, s. S. 554, vorliegt. Die geraden, schmalen Fräsen dienen u. a. zum Einkerben der Schnittschraubenköpfe. Bei den

**) S. Heusingers Organ f. d. Fortschr. des Eisenbahnwesens, Wiesbaden 1846, Bd. I S. 124.

*) Nach der Fräse, dem gefältelten Kragen, wegen der Formähnlichkeit benannt; die französische Schreibweise mit ai ist für uns ganz unnütz, da auch das betr. Zeitwort altfranzösisch *freser* lautete.

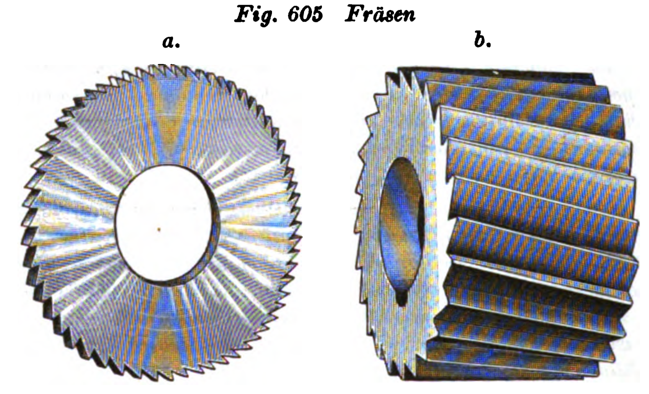


Fräsen kommt in voller Deutlichkeit der Satz XXIII zur Erscheinung, wonach am Werkstück die Umhüllungs- oder Hüllform des Werkzeugs entsteht.

1. Beispiel. Bei langsamer und ebener Fortschreitung der Achse einer cylindrischen Fräse beschreiben die Schneidzahnpunkte verlängerte

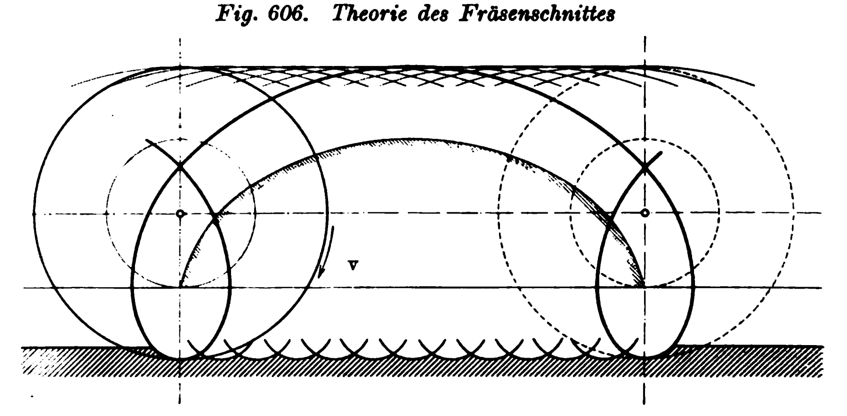
Fig. 605 Fräsen

a. *b.*



Orthocykloiden gegen das Werkstück, s. Fig. 606, und zwar sind die Kurvenbogen der Schnitte entweder kurz gekrümmt, wie unten, oder langgekrümmt, wie oben in unserer Figur gezeigt ist, je nachdem die anzugreifende Fläche liegt. Man sagt im ersten Falle, die Fräse schreite „gegen den Schnitt", im

Fig. 606. Theorie des Fräsenschnittes

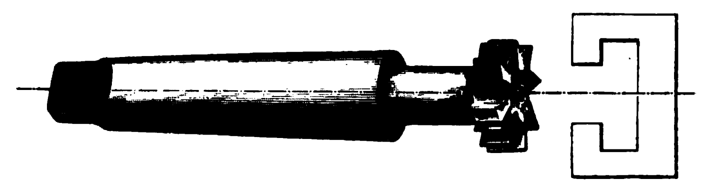


zweiten Falle, sie schreite „mit dem Schnitt" vor. Die Hüllbahn weist für jede Umdrehung der Fräse gegen das Werkstück so viele Kerben auf, wie die Fräse Zähne hat. Es ist von den Praktikern nicht entschieden, ob es besser ist, die Fräse mit, oder gegen den Schnitt voranschreiten zu lassen). Bei Fräsen für T-Schlitze, Fig. 607, kommt beides zugleich vor.*

*) Die Hen Pratt & Whitney waren auch unentschieden; flache Platten, die sie für mich nach der einen und andern Weise fräsen liessen, zeigten

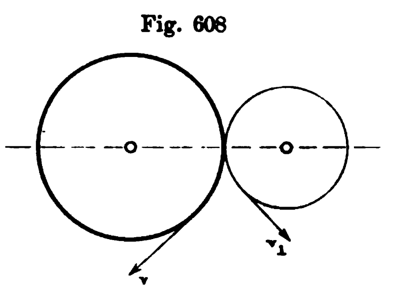
Die Beseitigung der Kerben geschieht am vollkommensten mit der Schmirgel- oder Karborundscheibe); beide sind als Fräsen von feiner*

Fig. 607 T-Schlitz-Fräse



Theilung, namentlich letztere, anzusehen, die den Kerbenabstand so klein erzielen, dass er verschwindet. In neuerer Zeit hat man in die Maschinenwerkstatt auch das Schleifen mit Diamantstaub eingeführt, das bisher namentlich nur zum Gemmen- und Münzenschnitt Verwendung fand; Diamantpulver wird in Drehkörperchen aus weichem Stahl eingedrückt.

Fig. 608



Ist ein runder Körper zu fräsen und läuft mit der Umfangsschnelle v_1 um, während die Fräse die Umfangsschnelle v hat, wie Fig. 608 angibt, so ist die Schnittschnelle c der Fräse: $c = v - v_1$. Ist nun:

$v_1 < v$, so ist c positiv und es geschieht Fortschreitung „gegen“ den Schnitt,

$v_1 > v$, so ist c negativ und es geschieht Fortschreitung „mit“ dem Schnitt,

v_1 negativ, so ist $c = v + v_1$ und es geschieht Fortschreitung „gegen“ den Schnitt,

$v_1 = v$, so ist $c = 0$ und es geschieht keine Fortschreitung.

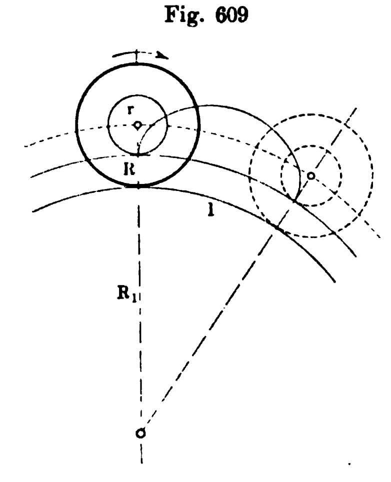
---

keinen bestimmten Unterschied bezüglich der Sauberkeit der Arbeit; die Marken der Verzahnungsfehler überwogen die Kerben. In der M.-Fabrik von Ludw. Löwe & Cie wurden neuerdings Versuche über die beiden Vorschubweisen angestellt; sie sind zu Gunsten des Fortschreitens „gegen den Schnitt“, s. den unteren Theil von Fig. 606, ausgefallen.

*) Ueber die Schleifmaschinen und deren Genauigkeit bezüglich der Erzielung bestimmter Abmessungen am Werkstück, s. des Verfassers „Mittheilungen über die amerikanische Masch.-Industrie“, Berliner Verhandlungen 1894 S. 225 ff.

Beim Fräsen der obigen ebenen Platte geht, wenn die Fräse nach rechts schreitet, oben die Fortschreitungsschnelle der Fräsenachse im selben Sinne wie v, unten im entgegengesetzten Sinne vor sich. Oben wird also mit dem Schnitt mit der Schnelle $v + v_1$, unten gegen den Schnitt mit der Schnelle $v - v_1$ fortgeschnitten.

Fig. 609



Wichtig ist es, die Theilung t' der Kerben bei gegebener Theilung t der Fräse zu kennen. Ist r, s. Fig. 609, der Halbmesser des rollenden Kreises der Fräse, so ist die Weglänge l am Werkstückumfang, die bei einem Umgang der Fräse durchlaufen wird $= 2\pi r \,.\, R_1 : (R + R_1 - r)$, daher bei der Zähnezahl 3 der Fräse:

$$t' = \frac{l}{3} = \frac{1}{3} \frac{2\pi R_1}{\frac{R + R_1}{r} - 1} .$$

Nennen wir nun die Winkelschnellen der beiden Stücke w und w_1, so haben wir $r w = (R + R_1 - r) w_1$ und daraus

$$\frac{R + R_1}{r} - 1 = \frac{w}{w_1},$$

haben aber auch $R w = v$ und $R_1 w_1 = v_1$, somit $\frac{w}{w_1} = \frac{v R_1}{v_1 R}$. Dies einsetzend, erhalten wir:

$$t' = \frac{2\pi R}{3} \frac{v_1}{v} = t \frac{v_1}{v} \quad \ldots \ldots \quad (72)$$

Diese einfache Formel zeigt, dass man, um eine feine Kerbung zu erhalten, die Umfangsschnelle v_1 des runden Werkstückes klein, die Fräsenschnelle v gross zu wählen hat. Ausserdem ergibt sich, dass die Kerbtheilung der Grösse nach nicht geändert wird, wenn bei derselben Grösse der Umlaufzahl die Umlaufrichtung des Werkstückes entgegengesetzt der der Fräse gemacht wird, mit anderen Worten: die Kerbtheilung bleibt dieselbe, ob mit oder gegen den Schnitt vorgeschritten wird. Dagegen sahen wir oben,

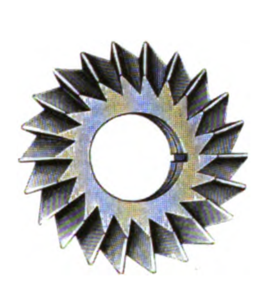
dass die Kerbtiefe beim Arbeiten gegen den Schnitt geringer ausfällt, als beim Vorschreiten mit dem Schnitt.

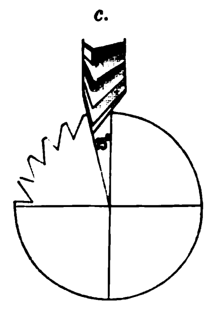
2. Beispiel. Das Arbeiten mit der Fräse ist so günstig und so schleunig, dass es nunmehr nach allen Richtungen entwickelt worden ist, auch die Drehbankarbeit an zahlreichen Stellen jetzt abgesetzt hat. Das erforderte eine besondere Ausbildung der Formen, in denen die Fräsen auf den Markt zu bringen waren, wo sie jetzt in vielen Gattungen und Grössen zu haben sind. Nur einige wenige seien dargestellt, Fig. 610 zeigt unter a eine sog.

Fig. 610 Scheibenfräsen

a. *b.* *c.*



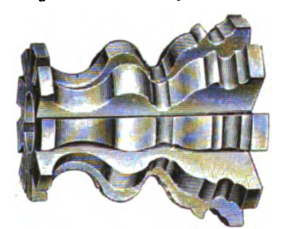




Scheibenfräse, seitlich als Planfräse gebildet; als solche wirkt auch die obige T-Schlitz-Fräse. Bei der Planfräse hat man zu bedenken, dass die, nahe der Achse gelegenen Punkte Fig. 606 ganz flach gewellte Cykloiden beschreiben, der Achsenpunkt selbst sogar geradlinig vorrückt. Demzufolge arbeiten diese nach innen zu gelegenen Zahnabschnitte schlecht, ja brechen beim ersten Arbeiten schon aus; man lässt deshalb diese inneren Fortsätze der Zähne jetzt stets weg. Unter b ist eine kegelförmige Fräse, unter c die

Fig. 611 Formfräsen







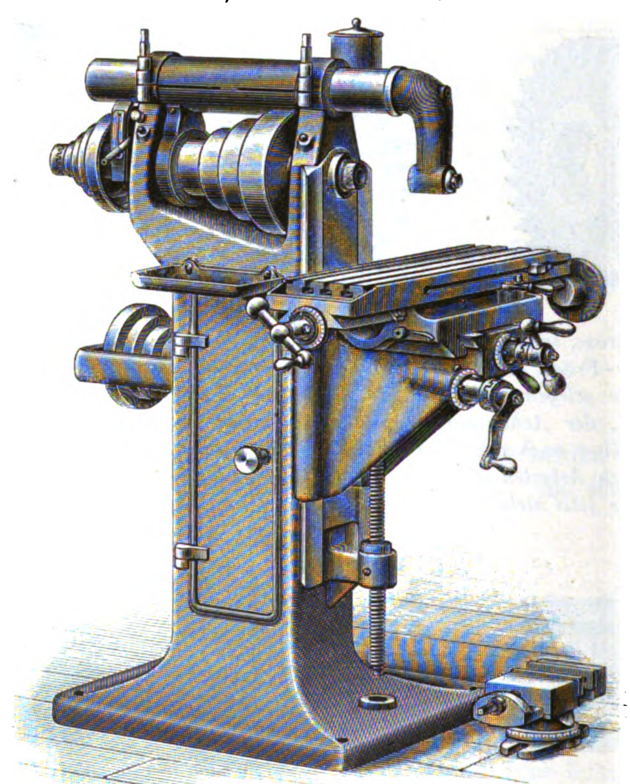
Anwendung einer solchen auf das Schneiden einer Scheibenfräse dargestellt. Ueberaus zahlreich sind die Formfräsen, d. h. solche für reichere Profilirung, s. Fig. 611. In die mathematische Strenge geht das über bezüglich der Fräsen für Zahnräder, von denen wir oben, §. 71 handelten). Mit dem Gebrauch der Fräsen und deren Herstellung hat sich auch das Schleifen*

*) Bei uns hat Reinecker in Chemnitz die Fabrikation von Fräsen ausgezeichnet tüchtig und erfolgreich aufgenommen.

derselben nothwendig entwickeln müssen. Jetzt ist dafür ein förmliches Zeughaus von Vorrichtungen und Maschinen vorhanden, mit denen in fortgeschrittenen Fabriken auch den gewöhnlichen Dreh- und Hobelmeisseln eigens abgewinkelte Schneidenform gegeben wird). Die damit eingeführte kinematische Strenge hat sich durch erstaunliche Beschleunigungen der Maschinen- und Arbeiterleistungen gelohnt. Der harte Zwang des Wettbewerbes wird das Verfahren sicherlich bald allgemeiner verbreiten.*

Die Fräsbänke selbst haben in Folge der schnell zunehmenden Anwendungen des Fräsverfahrens eine ausserordentliche Aus-

Fig. 612 Fräsmaschine



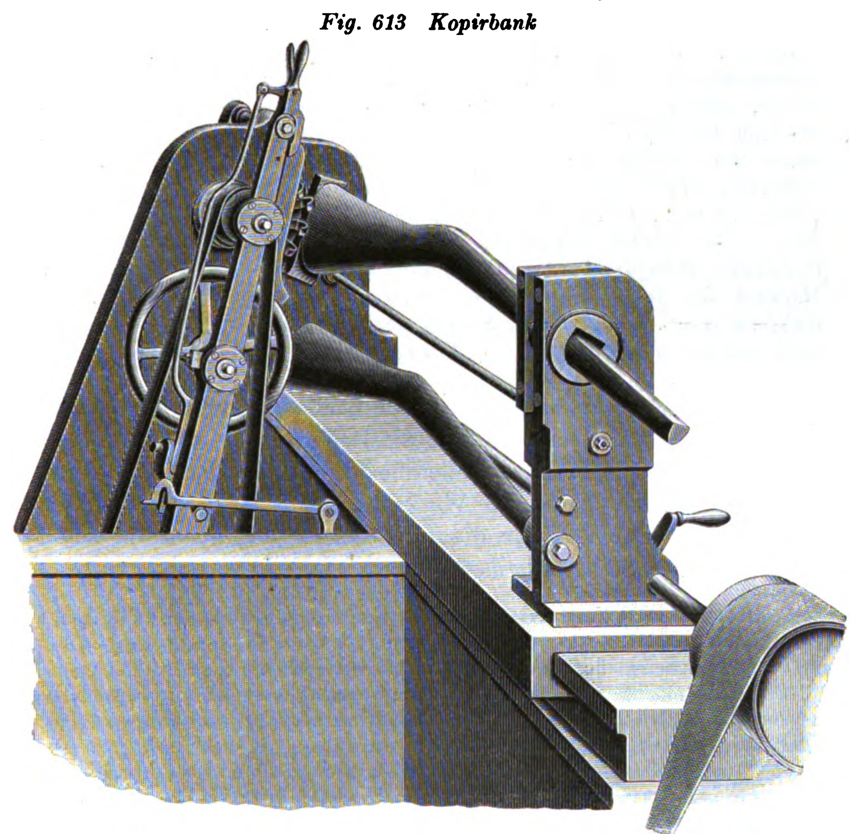
bildung erfahren. Konnte das Rundfräsen früher ganz gut auf der Drehbank, die man mit Hülfsvorrichtungen ausrüstete, geschehen, so forderte bald das Flach- und Kehligfräsen neue, dem Arbeitszweck besonders angepasste Einrichtungen. Die Zahl der

*) Vergl. die oben angeführten „Mittheilungen" des Verfassers.

verschiedenen Bauarten der Fräsbänke für Einzelzwecke geht jetzt über das halbe Hundert hinaus.

3. Beispiel. Um wenigstens ein Beispiel vorzuführen, sei auf die in Fig. 612 dargestellte einfache Fräsmaschine für Flach- und Kehlwerk hingewiesen. Der alte Spindelstock der Drehbank treibt die Spindel, an der nun das Werkzeug, die Fräse, befestigt ist; der Reitstock ist in den Führungsarm übergegangen, der das freie Ende der Frässpindel stützt. Der Kreuzschlitten, mehrfach ausgebildet, trägt nun das Werkstück statt des Werkzeuges und ist mit Schaltwerk und feinen Kreistheilungen seiner Schrauben-

Fig. 613 Kopirbank



triebe ausgerüstet. — Unter den Holzfräsbänken ist die Zinkenfräsmaschine besonders zu erwähnen, auf der mit mehreren, nebeneinander gelagerten Kopffräsen die trapezischen Ausschnitte für die Schwalbenschwanz-Verbindungen hergestellt werden).*

*) In grossartiger Weise angewandt zur Kistenfabrikation in Kansas-City, Ver. Staaten, wo jetzt jährlich $2^1/_2$ Million Kisten mit verzinkten und

4. Beispiel. Wie dem Runddrehen das Passigdrehen gegenübersteht, so dem Rundfräsen das Passigfräsen auf der sog. Kopirbank. Eine Formplatte oder, bei längsweis ausgedehnteren Stücken ein Formmodell, wird mit derselben Winkelschnelle gedreht wie das Werkstück, und schiebt das Fräsenlager, das sich kraftschlüssig mit einer Rolle gegen das Formmodell legt, quer während es längsweis fortrückt; die Fräse, deren Profil genau dem der Rolle entspricht, schneidet aus dem Werkstück einen Körper von der durch das Modell gegebenen Form heraus, d. h. schneidet von ihm so viel weg, dass der zu erzielende Körper übrig bleibt. Für Holzbearbeitung eignet sich das Verfahren besonders gut. Fig. 613 (a. v. S.) stellt) eine Kopirbank zur Gestaltung von Gewehrschäften dar. Das Verfahren ist schon alt, wurde und wird auch angewandt für Radspeichen, auch für Schuhleisten (seit 1862), passt auch für Treppendocken und mancherlei andere, häufig zu wiederholende Bearbeitungen. — Die gelungene Anwendung der Kopirbank für Flachwerk in Holz, ausgestellt 1893 in Chicago, wurde vom Verfasser in den angeführten Mittheilungen besprochen. Die radförmige Fräse ist dabei durch einen Bohrer ersetzt, bezw. durch mehrere Bohrer, indem auf den betreffenden Maschinen mehrere Wiederholungen des Werkstückes gleichzeitig bearbeitet werden. — Auf der älteren Hulot'schen Reliefdrehbank wurden flacherhabene Bildnisse in verkleinertem Mafsstab mit dem Diamantbohrer übertragen. Dass die so entstandene Hüllform (vergl. Satz XXIII, S. 665) noch in gewissen Feinheiten nachgeholt werden muss, liegt an der Fräserform und dem vorhin ermittelten Kerbenabstand.*

Die Kerben werden in diesen wie in den früher besprochenen Fällen, wo Genauigkeit der hergestellten Flächen erwünscht ist, nachträglich beseitigt. Dazu dienen bei eigentlichen Kunstwerkchen die von der Hand geführten Werkzeuge und das Schleifrad; bei Maschinentheilen dient für die feine Nacharbeit auch die schon oben erwähnte Schleifscheibe**).

---

zugleich verleimten Kantenverbindungen hergestellt werden (Hannövrisches Gewerbeblatt 1899).

*) Nach Scientific American vom 29. April 1899.

**) Hier möchte aber des von Hartig vermutheten und mit besonderer Vorliebe in seinen „Studien" behandelten „Gesetzes des Gebrauchswechsels" noch zu gedenken sein. Hartig fasst es wie folgt:

> „Sobald erst der Mensch sich zu einem grossen Zwecke, zu einer gewissen mechanischen Umgestaltung seiner körperlichen Umgebung eines gefundenen Werkzeuges (Urwerkzeuges) bemächtigt hatte, machte er sich nach und nach durch ein tastendes Versuchen andere Gebrauchsweisen, deren dieses Urwerkzeug fähig war, zu eigen und durch hierbei gewonnene Erkenntniss des Erfolges und schrittweise Anpassung des Werkzeuges an jede dieser Gebrauchsweisen setzte er sich mit der Zeit in den bleibenden Besitz einer grösseren Zahl selbstgefertigter Werkzeuge".

So verlockend und so bequem lehrbar das klingt, so wenig erweist es sich bei genauer Prüfung als haltbar. Hartig sieht in dem frühen

§. 108

Ueber das Messen der Werkstücke

Wie weit das Fortnehmen oder Verlegen von Theilchen des Werkstückes zu treiben sei, wird durch Messung bestimmt. An

---

Menschen, der vor allem Nahrung suchte und sich wehren musste, von vornherein den Techniker. Das war der Mensch auf den frühesten Stufen gemäfs den vorgeschichtlichen Forschungen aber nicht. Seine rohen ersten Hülfsmittel brauchte er zu allem, wozu sie nur irgendwie dienen konnten. Das ist zweifellos kein „Wechseln“, kein Tauschen des Gebrauchs, das ist Einheit des Gebrauchs. Mit dem Stein oder der Holzkeule schlug er, zerschlug er, erschlug er, stampfte er, quetschte er, erweichte er, entrindete er, trommelte er. Und als er dann allmählich weiterkam, wählte er für verschiedenes Schlagen, Stampfen, Zerreiben, Erweichen usw. Steine oder Hölzer von mehr dem Thun angepasster Form und Grösse. Nicht das „tastende Versuchen“, sondern Noth und Hunger sowohl, als Beispiele in der Natur (s. Klemm, Werkzeuge und Waffen, Sondershausen 1858), leiteten ihn zu der einen und anderen Form. Das ist nicht „Wechsel“, sondern Trennung, Abtrennung, Unterscheidung, Anpassung, „Differenzirung“ (Noiré), d. i. Abstufung, und wenn der Handwerksmeister heute dem Lehrling nicht gestattet, die scharfe Messingfeile auf Eisen zu gebrauchen, so geschieht das, weil dieser wirkliche „Gebrauchswechsel“ das gute, theure Werkzeug für das Messingfeilen verdirbt, also ganz bedeutend entwerthet. Das was der Lehrling thun wollte, hiess geradezu gegen das verbessernde Abstufungsverfahren handeln, und der Meister ist im Recht, wenn er eben diese Scheidung, Unterscheidung, Abtrennung, Abstufung, vermöge deren man die Werkzeuge für besondere Zwecke geeignet macht, dem Jüngling beibringt, also gerade das ihm beibringt, jene „Anpassung des Werkzeugs an jede Gebrauchsweise“, was Hartig als die glückliche Weiterbildung selber bezeichnet. Es liegt also hier offenbar kein Gesetz des Wechsels im Gebrauch vor, überhaupt kein technisches oder wissenschaftliches Gesetz, weder mathematisches noch Naturgesetz, sondern die Bethätigung der menschlichen Vernunft. Diese Bethätigung zeigt sich in der besprochenen Ausbildung des Werkzeugschliffes; sie stellt ein Beispiel der eingetretenen ganz besonders sorgfältigen „Anpassung“ oder „Abstufung“ vor, die sich von Amerika aus weiter zu verbreiten begonnen hat. Dass der verstorbene Ludwig Noiré in seiner Schrift „Das Werkzeug u. s. Bedeutung f. d. Entw.-Geschichte d. Menschheit“ (Mainz 1880) auf Hartigs vermeintliches Gebrauchswechsel-Gesetz eingieng, geschah unter völliger Unkenntniss der Technik, wie er dem Verfasser freundschaftlich zugestand. Bei den Technologen von Fach hat Hartigs Auffassung nur einen zögernden, einen Achtungserfolg errungen, indem sie, wie ich glaube, annahmen, dass Hartigs so verdienstvolle Arbeiten im Gebiet der Faserstoffindustrie in dem vermeintlichen „Gesetz“ einen mehr philosophischen, in die abliegende Formelsprache der Logik gebrachten Ausdruck finden wollte. Sie sahen und sehen, ebenso wie der Verfasser, angesichts der vorzüglichen Leistungen

Werkstücken können Längen, Winkel, Flächen, Gewicht und Schnelle zu messen sein. Dabei versteht man unter Messen, um es begrifflich scharf auszudrücken, das Beurtheilen der Aehnlichkeit (vergl. S. 140); es besteht im Vergleichen der zu ermittelnden Grösse mit einer bekannten Grösse*). Im Maschinenbau findet das Messen, und zwar nach den gesetzlich eingeführten Maſseinheiten, jetzt weit sorgfältiger statt, als vor wenig Jahrzehnten.

a) Längenmessung

*Das Messen von Längen, d. h. Erstreckungen in gerader Linie, geschah früher vorzugsweise mit dem Zirkel in dessen verschiedenen Formen. Dann kam die Schublehre, die den Maſsstab schon an sich trug, auf den der Zirkel als auf ein Zwischenglied noch angewiesen war, und danach das Schraubkaliber — s. Fig. 121, S. 167 — das sehr kleine Bruchtheile, z. B. des Millimeters noch zu messen gestattete, indem bei ihm eine feine Schraubensteigung den Maſsstab und ein getheilter Cylinder den Unterabtheiler bildete**). Aus dem Schraubkaliber gieng die von Whitworth gegen 1850 in den Maschinenbau eingeführte Feinmessmaschine hervor, die gemäſs ihrer feinen Schraube, ihrem getheilten Kreis und ihrem Nonius Längen von 1 Millionstel Zoll oder rund $^1/_{4000}$ mm abmaſs. So hohe Forderungen stellt man im Maschinenbau (mit Rücksicht auf die Wärmeeinwirkungen und Sehfehler) heute nicht mehr, sondern erachtet $^1/_{800}$ bis $^1/_{1000}$ mm für ausreichend; sehr geübte Personen gehen aber bis zu $^1/_{2000}$ mm. Unsre physikalisch-technische Reichsanstalt ist dem entstandenen Bedürfniss aufs dankenswertheste entgegengekommen, indem sie ihren grossen Repsold-Sommer'schen Vergleicher in den Dienst der Industrie gestellt hat***).*

---

des geschätzten Technologen in seinem eigentlichen Fach auch von der Seltsamkeit ab, dass er die in den „Studien“ behandelte Wissenschaft „Technologik“ nennt, also eine „Logik“ der technischen Künste, während doch die Gestaltungslehre gemeint ist. Es ist noch so Vieles zu thun in der Technologie, wie sich oben zeigt, dass es sehr erwünscht wäre, Hartigs bewährte Kraft in der alten Weise diese Wissenschaft fördern zu sehen.

*) Man nennt ja deshalb die grossen Messmaschinen Vergleicher.

**) In der Schweiz hat man früh angefangen, mit der Schublehre zu messen; vorzüglich getheilte Schublehren liefert der Mechaniker Roch in Lachaudefonds.

***) Bezüglich der Whitworth'schen Maschine vergl. man meinen Vortrag im Verein für Gewerbfleiss vom 2. Februar 1885, worin ich auf die Arbeiten von Reinecker in Chemnitz und dessen Haarröhrchen-Mikrometer hinwies. Sodann sei verwiesen auf meine „Mittheilungen über die amerikanische Maschinen-Industrie“ in den Berliner Verhandlungen 1894, S. 142 bis 225. Ausserdem verweise ich auf George M. Bonds „Standards of Length and their practical application“, Hartford Conn. 1887. Die amerikanische Maschinen-Industrie hat sich selbst geholfen, indem die Fabrikanten Pratt & Whitney zunächst einen von dem leider kürzlich verstorbenen Pro-

Prüft man vom kinematischen Standpunkt aus das Messen von Stabdicken und -Längen in der Schublehre und im Schraubkaliber, so erkennt man, dass es sich dabei um sorgfältige Prismenpaarung handelt. Die parallelen Endflächen der Messpflöcke und Schublehrenschenkel bilden Prismenflächen, und die zwischen sie gebrachten Cylinder und anderen Körper werden auf kurze Abschnittchen auch als Prismenstückchen behandelt; der Abstand ihrer Flächen wird nämlich gleich demjenigen der messenden Flächen gesetzt, sobald beim Einstellen die Paarung als bewirkt erkannt ist.

Beim Arbeiten mit Hülfe der Messmaschine ergeben sich die Abmessungen in dem zu Grunde gelegten Landesmafs. Bearbeitet man die Werkstücke so, dass man unter allmählichem Abschleifen zu bestimmten beabsichtigten Abmessungen geht, so hat das Messen „unbezüglich" stattgefunden, d. h. nicht in Beziehung auf einen schon vorhandenen Maschinentheil. Dies gibt die Möglichkeit, mehrere oder viele Theile so annähernd gleich an Grösse herzustellen, dass sie untereinander vertauscht werden können. Die dadurch erreichte Bauweise ist der „Austauschbau", wie ich es zu nennen vorschlug*). Diese Bauweise wurde hervorgerufen durch die Bedürfnisse der Heeresverwaltungen, die Tausende von Gewehren so gut hergestellt zu sehen wünschten (schon seit 1785), dass alle Theile derselben, obwohl in verschiedenen Werkstätten gearbeitet, zu einander passten. Jetzt ist der Austauschbau unter ganz erheblicher Steigerung der Genauigkeit, auf eine Reihe

---

fessor Rogers entworfenen, von Bond verbesserten grossen Vergleicher — er heisst der Rogers-Bond'sche Vergleicher — ausführten, um nun mit seiner Benutzung Messmaschinen für die Praxis zu bauen. Eine ausführliche Beschreibung des Vergleichers gibt Joshua Rose in seinem Werk: Modern machine shop practice (3 Bde.) I S. 341, einem Buch, welches auch reich an technologischem Inhalt ist. Der amerikanische Maschinenbau verfügt jetzt über ganze dreizehn verschiedene Bauarten von Messmaschinen. Die Herren Pratt & Whitney hatten die Güte, mir für meinem Privatgebrauch drei Lehrbolzen zu einem auf 1" genau gebohrten Ringe zu liefern, von denen einer genau 1" dick ist, einer um $^1/_{10000}$" oder ~ $^1/_{400}$ mm, und einer um $^1/_{20000}$" oder ~ $^1/_{800}$ mm dünner ist. Lorenz (Karlsruhe) arbeitet theils mit der Whitworth'schen, theils neuerdings mit einer höchst genauen Maschine eigener, hoch ausgebildeter Bauart, Hommel (Mainz) mit einer trefflichen Maschine von Pratt & Whitney.

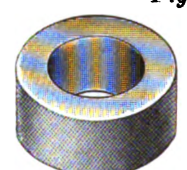
*) Der von Manchen dafür gebrauchte Ausdruck „Massenfabrikation" ist nicht allein nicht gut, da das Verfahren auch für einzelne Ausführungen passt, sondern sogar schädlich, indem er bei Nichtkennern die Vorstellung von einer rohen, der Sorgfalt nicht bedürfenden Waare hervorruft.

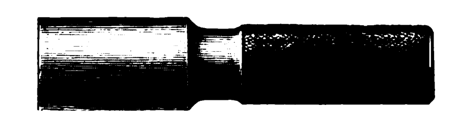
anderer Maschinen ausgedehnt und wird ohne Zweifel sich noch immer weit ausdehnen.

Das früher allgemein angewandte Verfahren, das vielfach auch noch heute geübt wird, besteht darin, dass die zusammengehörigen Theile aneinander „gepasst“ werden, d. h. dass nach ungefährer Fertigstellung der beiden Partner von dem einen und andern so lange etwas weggenommen wird, bis die Paarung genügend erscheint. Die Partner sind dann aber in ihren Mafsen nur zueinander oder „bezüglich“ richtig; das Messungsverfahren ist das „bezügliche“.

Im Austauschbau ist man zu einem Mittelding zwischen bezüglichem und unbezüglichem Messen übergegangen. Whitworths Verdienst ist es, das

Fig. 614 Lehrbolzen mit Lehrring

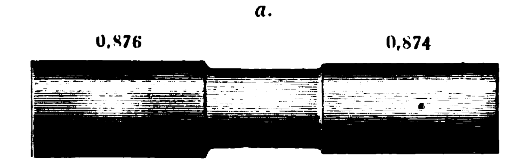




Verfahren eingeführt zu haben. Es werden Lehren in einigen wenigen Formen paarweis so ausgeführt, dass sie, unbezüglich gemessen, ganz be-

Fig. 615 Zwisellehren

a.



b.



stimmte Abmessungen zeigen, und an diese Lehrkörper werden dann die zu fertigenden Stücke angepasst. Als eines der wichtigsten Lehrkörperpaare dient der cylindrische Lehrbolzen mit Lehrring, Fig. 614. Der Bolzen ist so dick, wie der Lehrring weit ist, und hat zugleich einen nach Landesmafs ihm genau verliehenen Durchmesser. Mit Hülfe der beiden Lehrstücke werden nun andere, in die Werkstatt gehende Lehrkörper angefertigt und danach Bohrungen oder Abdrehungen ausgeführt. Beispielsweise ist das eine Stück ein Zwiselbolzen, Fig. 615 a, dessen zwei Dicken um $^2/_{1000}$ Zoll verschieden sind. Der Arbeiter hat nun die fragliche Ausbohrung so vorzunehmen, dass der dünne Schaft in das Loch hineingeht, der dickere aber nicht, womit erreicht wird, dass das gebohrte Loch eine Weite erhalten hat, die zwischen den beiden Lehrdicken liegt, also

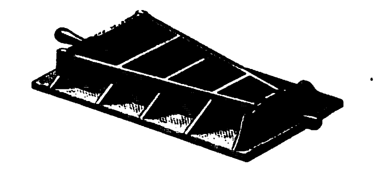
von jeder um rund $^1/_{1000}$ Zoll verschieden ist. Zur Bearbeitung von Vollcylindern dient die Zwisel-Lehrgabel Fig. b in ganz ähnlicher Weise. Es kann den, mit den Geräthen ausgerüsteten Arbeitern unbekannt sein, welchen „unbezüglichen" Abmessungen die Lehrkörper entsprechen; dennoch aber fallen ihre Arbeitsstücke mit der gestatteten feinen Abweichung den beabsichtigten Grössenwerthen gleich aus. An diese Arbeitsweise gewöhnt sich der Arbeiter sehr rasch).*

Das Ergebniss seiner, durch die Lehrstücke geregelten Thätigkeit ist, dass die fertigen und annehmbar befundenen Stücke sämmtlich die vorgeschriebenen Abmessungen mit enger Annäherung an die mathematische Genauigkeit aufweisen**). Je nach den Aufgaben sind die Lehrkörper anders gestaltet.

b) *Winkelmessung****)*

Die Geräthe für Winkelmessung in der Maschinenwerkstatt sind im letzten Jahrzehnt ausserordentlich ausgebildet worden und stehen nicht mehr gegen die des Zeichenzimmers zurück †). Eines der wichtigsten Hülfsmittel für die Bearbeitung runder Stücke ist nach wie vor die Kreistheilmaschine, die von früh her bei uns vorzüglich ausgebildet worden ist. Einen sehr hübschen Theilstock für Hobelmaschinen, auf denen runde Stücke mit Längsrinnen zu versehen sind, bauen die Fabrikanten Harrington, son & Cie in Philadelphia.

Fig. 616



c) *Flächenmessung*

Für die Ebnung von Flächen leistet die, von Whitworth schon ausgebildete Richtplatte, Fig. 616, die in trefflichen Ausführungen auf dem Markte ist, ausgezeichnete Dienste. Man stellt sie jetzt in guten Fabriken, dem

*) Vorzüglich gearbeitete Lehrbolzen und -Ringe fertigen die Reinecker'sche Fabrik in Chemnitz und die Lorenz'sche bei Karlsruhe, sehr gute auch Hommel in Mainz, wie Prüfungen der Reichsanstalt beweisen.

**) Hunderte von Riemscheiben und Hunderte von dazu gehörigen Wellen, ja auch ganze Lokomotivcylinder, Deckel und Kolben dazu, werden so, ganz unabhängig voneinander in verschiedenen Werkstätten trefflich gefertigt und ermöglichen schnellen Aufbau der Maschine.

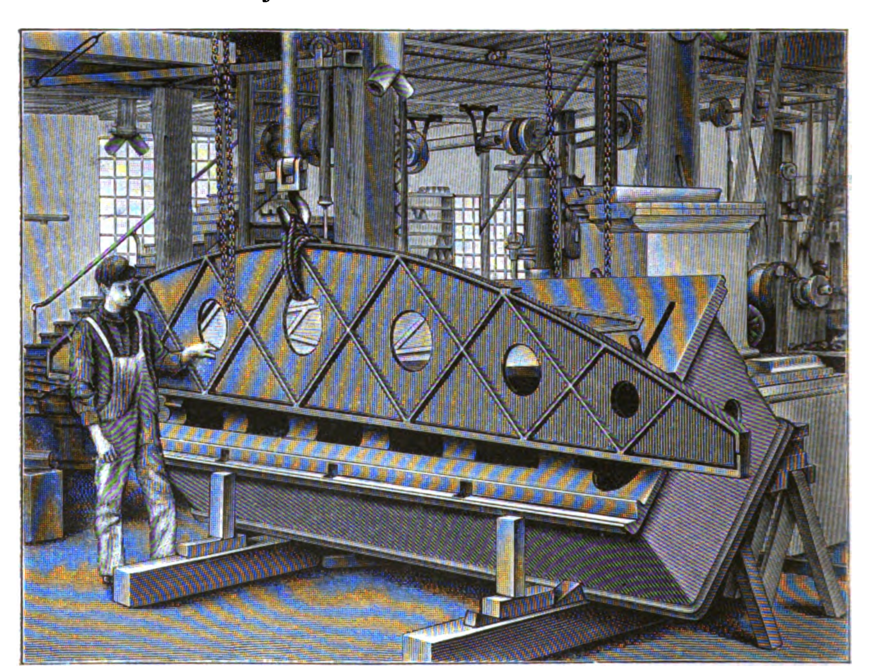
***) Winkelmessung und Flächenmessung bedeuten „Ordnung im Raum", vergl. S. 140.

†) Starret in Athol (Massachusetts) führt sehr praktische und feine Winkelmesser für den Werkstattsgebrauch aus.

Whitworth'schen Beispiel folgend, in Ternen, d. i. zu dreien zugleich her, damit auch etwa eingeschlichene Kugelform, die bei paarweis vorgenommener Fertigstellung der Beobachtung entgehen kann, entdeckbar wird. Das wichtigste Werkzeug zur letzten Ausgleichung ist der Schaber*).

Grössere Richtplatten sind schwer; so wiegt die 68 × 36zöllige von Brown & Sharpe 460 kg. Die Messlineale oder Richtscheite sind schmale und lange Richtplatten. Die Anwendung eines mächtigen Richtscheits bei der Landis Tool Company in Waynesboro (Pennsylvanien) zeigt Fig. 617.

Fig. 617 Messen mit dem Richtscheit



*Es ist 5 m lang und 63 mm breit auf der Messfläche und wird hier gebraucht, um die Gleitbahnen einer Hobelmaschine zu prüfen; es hängt an einem Pressluftbebezeug ähnlich dem in Fig. 447 dargestellten. — Für krumme Flächen, wie z. B. die der Schraubengewinde, hat sich ein hoch ausgebildetes Verfahren der Messung als unumgänglich nöthig herausgestellt**).*

*) Eine eingehende Besprechung des Schabens der Richtplatten findet man in dem schon angeführten Buche von Shelley, Worshop Appliances, S. 127 ff.

**) Siehe meine „Mittheilungen“, sowie Bonds Standards of Length, und Roses Machine Shop Practice.

d) Gewichtsmessung

Die Waagen wurden schon oben, §. 47, in vielen wichtigen und an kinematischer Durchbildung reichen Formen besprochen, s. auch §. 113.

e) Schnellenmessung)*

*Verschiedene „Tachometer“ für die Lokomotive und „Gyrometer“ für die Umtriebsmaschinen hat man hergestellt. Neuerdings wendet man der Aufgabe wieder mehr Aufmerksamkeit zu; das von Dr. Göpel, Assistent an der physikalisch-technischen Reichsanstalt angegebene Gyrometer misst ganz feine Schwankungen in der Drehschnelle jeder einzelnen Drehung. Handliche Umlaufzähler mit laufendem Zählwerk (vergl. S. 456) sind zum Zählen von Wellendrehungen im Gebrauch**).*

§. 109

Starres beugendes Werkzeug

Ein starres Werkzeug, das mit einem Zugelement oder Track zusammentrifft, kann es vermöge dessen Natur aus seiner Richtung bringen, „beugen“ möchte ich es der Kürze halber nennen. Die starren beugenden Werkzeuge dienen, obwohl in geringerem Formenreichthum, ausserordentlich viel und wirksam in der Faserstoff-Industrie. Solche Werkzeuge sind die Spindel, der Haspel, die Garnrolle, klein und gross, und so eine Reihe von Wicklungswerkzeugen. Mit zunehmender Feinheit wird das Wickeln jetzt in mancherlei Instrumenten wie Indikator, Gyrometer und manchen andern angewandt.

Eine weitere, von beugenden Werkzeugen ausgeführte Arbeit ist das Kämmen oder Strählen. In den Kämm-Maschinen für Flachs, Jute, Wolle bilden lange, nadelförmige Stifte in Vielzahl die Werkzeuge zum Längslegen der Fasern. In der Baumwollbearbeitung vollziehen die Häkchen auf den Kratzenbändern Aehnliches. Fertig gewebte Stoffe werden mit starrem Werkzeug breitgelegt (s. S. 550), wollene Zeuge geschoren (s. Fig. 483), ebensolche auch gewalkt, nach der älteren oder früheren Weise mittelst

*) Schnellenmessung bedeutet „Ordnung in der Zeit“, vergl. S. 140.

**) Der Starret'sche Zähler ist sehr verbreitet.

hölzerner, gezahnter Hämmer, nach der neueren jetzt vorgezogenen mittelst Walzen. Mit Walzen wird auch auf einer Vorstufe das Garn gestreckt, d. h. seine Fasern werden aneinander entlang gezogen (s. S. 533), mit Nitschelwalzen (s. S. 549) werden Bänder aus Baumwollfasern zu drallfreien Dochten gestaltet; so werden überhaupt zahlreiche und wichtige Vor- und Nacharbeiten an Gebilden aus Faserstoff mit starren beugenden Werkzeugen ausgeführt.

§. 110

Starres prägendes Werkzeug

Den tropfbaren wie den teigigen Fluden wird auf viele Weisen durch starres Werkzeug eine Form aufgeprägt, weshalb man diese Werkzeuge allgemein „prägende“ nennen darf.

1. Beispielsreihe. In der Giesserei wird vermöge Ausfüllung der „Form“, also durch blosse Leitung, das durch Wärme flüssig gemachte Metall gestaltet. Aehnliches geschieht mit Wachs, Talg, Stearin, Paraffin, sodann mit Gips, Zement, Magnesia und andern Stoffen in wässeriger, bald erhärtender Anmengung. Glas wird glühend in Formen geblasen und gepresst. In der Eismaschine wird Wasser zum Erstarren in seiner Leitung gebracht und dadurch zu Blöcken und Platten gestaltet.

2. Beispielsreihe. Auf der Schmiedepresse werden Flussstahl-, Fluss- und Schweisseisenstücke in durch Hitze erweichtem Zustand gestaltet; der Hammer in seinen zahlreichen Formen erzielt den zu ähnlicher Gestaltung nöthigen Druck aus lebendiger Kraft (Haltungsarbeit). Blei wird in der Geschosspresse mannigfach gestaltet: Edelmetalle sowohl als gewöhnlichere werden auf dem Prägestock (vergl. Fig. 183) in die feinsten Formen gepresst, indem man sie als sehr schwerflüssige Flude behandelt. Hierher gehört auch die Lochpresse mit rundem Stempel, die man allerdings auch den Scheeren anreihen könnte; allein gerade sie ist es, an der die berühmten Versuche von Tresca zuerst gezeigt haben), dass bei den zähen Metallen ein wahres Fliessen stattfindet, wenn sie einem Prägedruck unterworfen werden. Draht, ein Zugelement, wird bei angemessener Leitung als Flud behandelbar, indem man ihn in Kanälchen presst und zu Haken und Oesen, Kettengliedern, Schraubenfedern usw. gestaltet. Das Drucken mit Typen und verwandten Mitteln ist im Grunde ein Prägen. Eine bei uns wenig bekannte Maschine, die unter Prägewirkung arbeitet, ist die Goodyear'sche**) sog. Dengel- oder Kaltstreckmaschine (Swaging machine), welche*

---

*) S. Pract. Mech. Journal 1865/66 S. 324 und 1866/67 S. 72, sodann Berliner Verhandlungen 1873 S. 370; 1874 S. 189; eingehend behandelt bei E. v. Hoyer, Mech. Technologie III. Aufl.. Bd. I S. 223 und durch Kick im Technischen Wörterbuch VII S. 584.

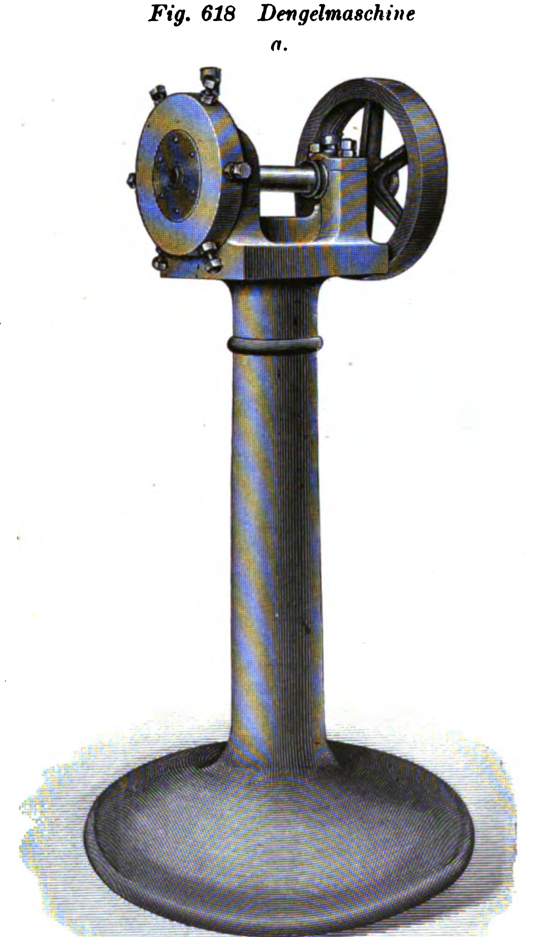
**) J. W. Goodyear in Waterbury Conn.

Fig. 618 a, b in einer Haupt- und zwei Einzelansichten darstellt. Sechs Kniehebel, von denen immer zwei gleichzeitig die umlaufenden Stempel gegen einander pressen, worauf die Stempel sie verlassen, um zu einem andern Paar überzugehen, bilden das wesentliche Getriebe. Die Dengelmaschine oder kürzer der Dengler dient vorzüglich zum Ausrecken der Schäfte kurzer dünner Stäbe, die einen langen Kopf, der ungereckt bleibt, erhalten sollen.

Die Nähmaschinennadeln werden so aus dem runden Draht herausgedengelt, statt sie, wie früher, daraus zu schleifen. Das Dengeln einer gewöhnlichen Singernadel dauert bloss 15 Sekunden. Lange messingene Stifte für Shrapnellzünder werden ebenfalls auf dem Dengler ausgereckt.

Fig. 618 Dengelmaschine

a.



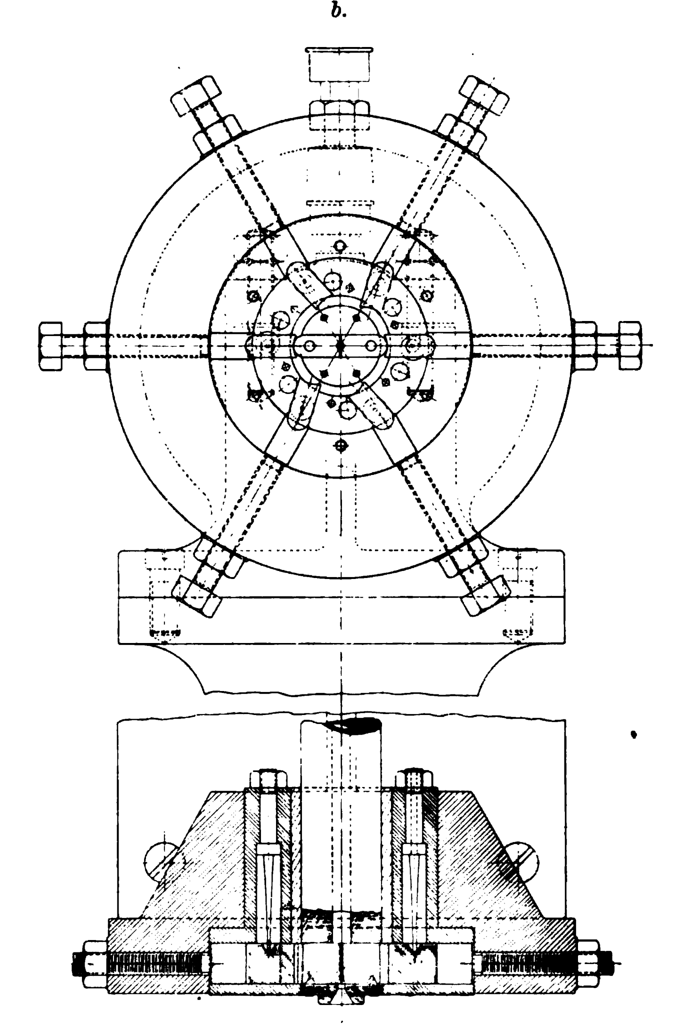
3. Beispielsreihe. Die Walzen der Walzwerke sind prägende Werkzeuge von dem ausgezeichneten vielfältigen Gebrauch, den sie in verschiedenen Industrieen erfahren. Vorwiegend werden prismatische Gebilde auf dem Walzwerk erzeugt, aber auch ringförmige (Radreifen) und auch solche von wechselndem Längenprofil, wobei bis zu Blätterkarniesen und Aehnlichem gegangen wird (Mannstädt & Cie in Kalk). Die Molettirmaschine überträgt figürliche Eingrabungen der Walzenumfänge auf ebene Flächen. Glühende Glasmasse wird auf der eisernen Ausgussplatte durch eine kraftschlüssig drückende Walze zu Platten gestaltet.

4. Beispielsreihe. Halbtrockenes Thonmehl, Torfklein, Braunkohlengrus, Schokoladenpulver, Sägemehl, Papiermasse usw. werden in allerlei Formen gepresst. Gussformen aus Formsand (s. oben) werden ihrerseits in

den Formmaschinen mit der Presse hergestellt). Für die Theile landwirthschaftlicher Maschinen wenden Lanz & Cie in Mannheim Form-*

Fig. 618 Goodyears Dengelmaschine

b.



maschinen eigener Bauart erfolgreich an. In Packpressen werden Heu, Stroh, Baumwolle, Wolle usw. als Flude behandelt und unter mächtigem

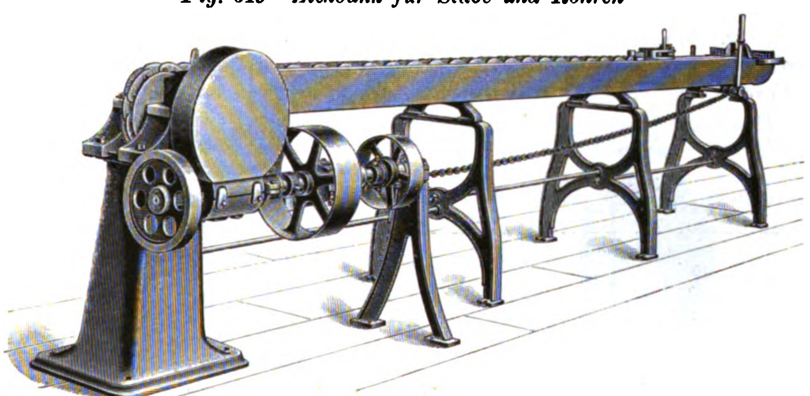
*) Eine Formmaschine, die auf der Chicagoer Weltausstellung grosse Anerkennung fand, ist die mit Dampfdruck und unter Dampfwärmung wirkende der Tabor Mfg. & Company in Neuyork, Liberty Street 113.

Druck in Blöcke gestaltet, wodurch ihnen die Eigenschaft verliehen wird, im Welthandels-Verkehr leicht versandt werden zu können.

5. Beispielsreihe. Strahlbildung ist ein wesentliches Gestaltungsmittel bei der Fludbearbeitung. Die Thonpresse, die Nudelpresse, die Bleirohrpresse, die Kabelhüllenpresse, auch Chardonnets Presse für künstliche Seide gestalten Fludstränge, deren Querschnitt der Mundöffnung des starren Werkzeuges entspricht. Sehr ähnlich ist das neuere Verfahren von Prof. Hummel in Leeds zur Herstellung künstlicher Seide aus Gelatine. Strahlbildung findet auch auf der Papiermaschine statt, um aus dem Zeugbrei die dünne, durch Absaugung vorzutrocknende Schicht entstehen zu lassen, die nachher ein Track bildet. Die Ziehpresse für Gefässe, Kochtöpfe, Dosen, Kannen usw., die bei uns namentlich durch Kircheis in Aue besonders aus-



Fig. 619 Ziehbank für Stäbe und Röhren



gebildet worden ist, arbeitet unter Strahlbildung). Dasselbe gilt von der Drahtziehbank, sowie der Stab- und der Rohrziehbank, s. Fig. 619. Auch hier findet Strahlbildung statt; das Vorderende des Werkstückes ruft nämlich am Mundstück — genannt Zieheisen — den Spannungsunterschied im Werkstoff hervor, der das Austreten des Strahls zur Folge hat und den andernfalls benutzten Druck von der anderen Seite des Mundstückes hervorruft. Auf diesen Spannungsunterschied kommt es an, gleichwerthig ist es technologisch, ob er durch Zug oder durch Druck erzielt wird. — Die unter den hauswirthschaftlichen Maschinen jetzt beliebt gewordene Fleischmühle der Fabrik Alexanderwerk entsendet ähnlich der Schlickeysen'schen Thonpresse durch eine Treibschraube Stränge aus gemahlenem Fleisch.*

§. 111

Starres malmendes und mahlendes Werkzeug

Ein weites Gebiet der Bearbeitung von Fluden, massigen wie körnerigen, mit ausreichend hartem Werkzeug ist dasjenige,

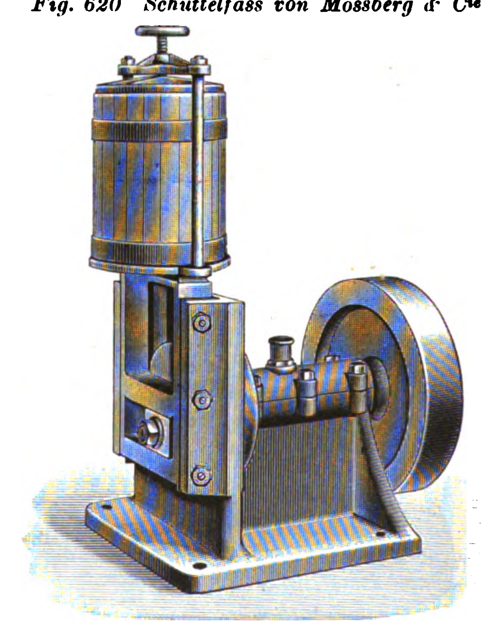
*) Vergl. im Journal of the Franklin Institute 1866 den Vortrag von Oberlin Smyth über das Fliessen von Metallen beim Ziehvorgang.

bei dem oft der „Spahn“, das Abgelöste, der werthvollere Theil ist oder zum werthvolleren gemacht wird. Es ist das grosse Gebiet der Müllerei. In ihm wird einestheils das Prägen so weit getrieben, dass die Theilchen fast auseinander fallen, gemalmt und zermalmt werden, anderntheils werden die Theilchen völlig frei abgelöst, sei es in Streifen-, sei es in Pulverform, diene es zum Ablösen von Theilchen vom Kern, diene es zum völligen Zerpulvern des Ganzen.

1. Beispielsreihe. Die Kollergänge, Quetschwalzen, Schleudermühlen, Kugelmühlen usw. zerkleinern allerlei körnerige bis brockige Flude, wie Trass, Kalk, Gips, Zement, Kohle, Erze, Schlacken usw. unter Zermalmung zu Pulver oder pulverähnlichem Klein in ausgezeichneter Weise.

2. Beispielsreihe. Mit Quetschwalzen von ungleicher Umfangsschnelle im Walzenpaar werden Trauben, auch Oelsamen und verwandte Früchte halb bis ganz zermalmt, um den flüssigen Inhalt der Körner freizulegen; feinere Zermalmung, namentlich von Oelsamen verschiedener Art, bewirkt man auf dem Kollergang.

Fig. 620 Schüttelfass von Mossberg & Cie



3. Beispielsreihe. In der Scheuertrommel oder dem Rollfass werden kleinere Werkstücke aus Metall wie körneriges Flud behandelt, indem sie im umlaufenden Fass übereinander hingerollt werden; dadurch werden sie von Gussnäthen und Prägegräten befreit, wonach sie unter Fortsetzung des Verfahrens durch beigegebenes Schleifpulver noch geglättet werden. — Für gewisse Gegenstände eignet sich noch besser als das Rollfass das Schüttelfass, Fig. 620, das neuerdings in Gebrauch gekommen ist.

4. Beispielsreihe. Mit Pressen mancherlei Form wird korneriges, schlammiges, auch faserreiches Flud theils zermalmt, theils stark gequetscht, wie Oliven, Trauben, um den Früchten die flüssigen Bestandtheile zu entziehen, flockige Massen auch zu entwässern oder ihnen eine nutzbare Flüssigkeit zu entnehmen.

5. Beispielsreihe. Mit allerhand Schälmaschinen, die mit Reiben, mit Sägeblättern, Schlagleisten, Bürsten usw. wirken, werden Getreidekörner aller Art von Spelz und anderer Oberhaut befreit, geschält.

6. Beispielsreihe. Am ausgedehntesten ist der Gebrauch mahlender Werkzeuge in der Getreidemüllerei. Diese treibt das Bearbeiten der Körner entweder bis zum völligen Zerpulvern, oder sie lässt einen gewissen Theil des Kornes, Graupen, Gries usw. bestehen. Hier empfängt das kleiner und kleiner werdende Werkstückchen zwischen den Mahlflächen am harten Werkzeug die oben (S. 666) erwähnte Umhüllungsform, die seiner Paarung mit dem Werkzeug zukommt; diese Form ist diesmal die einer kleinen Kugel. Die zwei Hauptwerkzeugarten sind die flachen Mahlsteine mit Schärfungsrinnen und die harten Mahlwalzen, beide vielfach im Gebrauch, ohne dass das Walzmahlverfahren das alte Steinmahlverfahren verdrängt hätte.

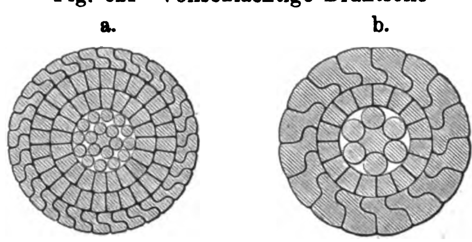
Die Mannigfaltigkeit auf diesem Gebiet ist sehr gross; Aufgabe der angewandten Kinematik und der Technologie ist es, hier vollständig zu sein.

§. 112

Das Werkzeug ein Zugelement oder Track

Die grossartigste Verwendung von Track zur Bearbeitung von seines Gleichen weist die Faserstoff-Industrie auf. Im Spinnen, Weben, Wirken, Flechten, Stricken, Nähen usw. bildet Faden gegen Faden, Faden gegen Zeug, und beidemal auch umgekehrt, Werkzeug gegen Werkstück. Das Schiffchen, das Häkchen, das

Fig. 621 Vollschlächtige Drahtseile



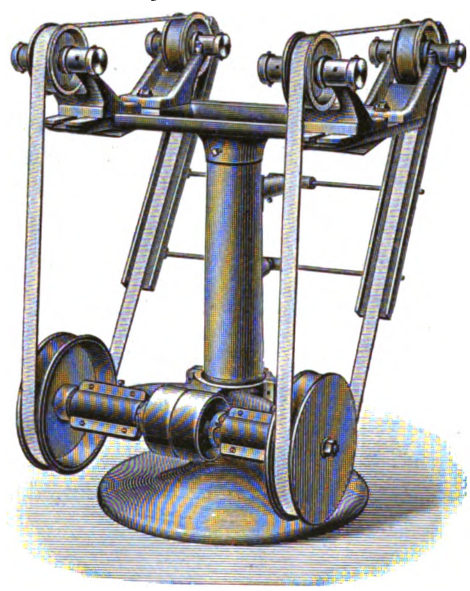
Aeuglein, die Nadel und ihre Anverwandten, auch das ausgezeichnete Schaltwerk des Jacquardstuhles, sind nur Ortsänderungs- oder Beförderungsmittel und Leiter; die eigentlichen Werkzeuge für Faden und Gewebe sind die Fäden selbst. In Fig. 255 hatten wir eine grosse Seilspinnmaschine vor uns; diese führt, leitet die Litzen und Drähte eines Seiles in geeigneter Bewegung zur Leitstelle, dem „Seiltopf", wo diese Seiltheile zusammentreten und sich gegenseitig Schraubengestalt verleihen. Wie genau das geschieht, zeigen die beiden hier, Fig. 621 abgebildeten Querschnitte vollschlächtiger Drahtseile aus Formdraht, ausgezeichnet

hergestellt in der Fabrik von Felten & Guilleaume in Mühlheim a. Rh.

Auf ein Flud wirkt ein Track bei der Drahtseilschlägerei da, wo der reingebeizte Draht durch ein Bad von geschmolzenem Zink geführt wird und dieses Flud veranlasst, sich in feiner cylindrischer Schicht um den Draht zu legen. Bei der Baggermaschine wirkt ein Track in Form der Becherkette auf ein kiesiges, sandiges Flud.

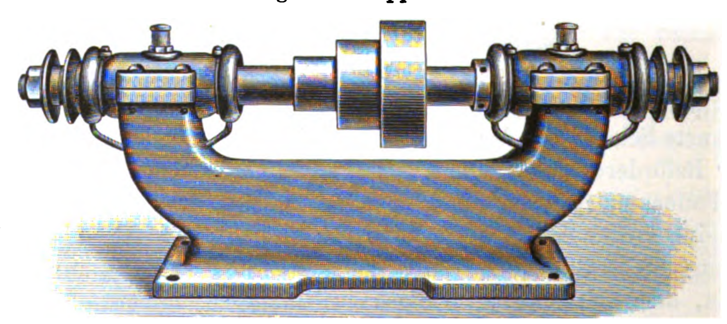


Fig. 622 Schleifriemen



Auf starres Werkstück wirkt Track in der Form des Schleifriemens, siehe Fig. 622, mit dem Arbeitsstücke von rundlichen Formen, wie Hähne, Knäufe, Griffe, Oehre, Perlstäbe, aber auch eiserne Exzenterringe, Sperrklinken, Pleuelschäfte usw. polirt werden*). Die höchste Politur liefert Track in der Form der Lappenscheibe oder Lappscheibe, die meist paarweis auf der dazu be-

Fig. 623 Lappscheibe



*) Zwei- wie einriemige Schleifmaschinen etwas anderer Bauart liefern Selig jr. & Cie in Berlin.

stimmten Spindel, Fig. 623, angebracht wird; man nennt diese Arbeit das Lappen.

§. 113

Das Werkzeug ein Druckelement oder Flud

Die Bearbeitung mittelst Fluds ist nicht immer so deutlich wie die mit starrem Werkzeug, wird aber viel benutzt. Der Strahlwerfer, den wir S. 159 besprachen, hat ähnliche Aufgaben wie der soeben erwähnte Bagger zu erfüllen, thut dies aber in anderer Weise, indem er Flud mit Flud bearbeitet. Tausende von Pferdestärken werden in ihm nützlich verwandt. Im Bessemerofen wirkt Luft auf flüssiges Eisen und entkohlt es. Im Nebelhorn setzt Dampf die Luftsäule in tönende Bewegung.

In der so ausserordentlich nützlichen Schleudertrommel wirkt Flud auf mancherlei Tracke, wie Garn, Tuch, Leibwäsche zum Ausspülen wie Trocknen, auf Garn in übrigens fertigen*) Strängen auch zum sog. Mercerisiren**), d. i. Hornigmachen oder Hürnen der Fasern vermöge Durchtränkung mit Lauge***). In der Färberei, beim Schlichten von Zeugen, beim Leimen von Papier, in der Buntpapiermacherei, beim Teppichreinigen mit Pressluft usw. usw. wird Fludbearbeitung an Tracken ausgeübt.

Starres Werkstück endlich wird durch Flud bearbeitet in Tilgmans Sandstrahlgebläse bei dessen mannigfachen, so nützlichen Anwendungen. In der Zuckerschleuder befreit der Fludstrom schnell die Zuckerkriställchen von ihrer Syruphülle. In der Dampfpfeife setzt Flud die Glocke in tönende Schwingungen; dasselbe thut das Flud Luft in der Zungenpfeife an der Metallzunge.

§. 114

Das Sondern nach Grösse, Gewicht und Form

Zwischen und nach den besprochenen Formumwandlungen, die das Werkzeug am Werkstück bewirkt, muss das letztere mehr oder weniger häufig seinen Ort in der Maschine ändern, und es ist begreiflich, dass man diese Ortsänderungen mehr und mehr durch die Maschine vollziehen lässt. In grosser Zahl sind uns

*) Vergl. die Bemerkung S. 644 unten.
**) Nach dem Verfahren von Kleinewefers Söhnen in Krefeld.
***) S. Paul Gardner, die Mercerisation der Baumwolle, Berlin 1898.

solche Ortsänderungen begegnet. Eine scharfe Unterscheidung zwischen ihnen und denjenigen z. B. des Frachtverkehrs, scheint streng theoretisch kaum möglich (vergl. Bd. I S. 231), obgleich sie sich praktisch so weit empfiehlt, dass man diese Ortsänderungen als Zwischenglieder der Formänderungsarbeit in Betracht zieht. Eine gewisse Gattung von solchen inneren Ortsänderungen verdient indessen noch einer besonderen Erwägung betreffs ihrer etwaigen Zugehörigkeit zur Gestaltung. Es ist das machinal auszuführende Sondern von theilweis oder ganz fertigen kleineren Arbeitsstücken nach Grösse, Gewicht und Form.

a) Sonderung nach Grösse

Zum Sondern von Werkskörpern nach der Grösse dient das früh erfundene Geräth, das wir Sieb nennen. Das Handsieb, das von dem aufgeschütteten Gemenge beim Rütteln die kleineren Stücke durchfallen lässt, ist die Ausgangsform. Durch Wiederholung des Verfahrens mit Sieben von anderer Maschenweite kann man eine vielfache Abstufung der Grössen erreichen. Gelochte Blechtrommeln mit verschiedener Maschenweite in aufeinander folgenden Zonen, etwas schief gelagert, ähnliche Drahttrommeln und solche, die mit gewebtem Siebzeug beschlagen sind, dienen in vorzüglicher bekannter Weise in vielen Maschinen. In ihrer Form werden die Körner dabei nicht mehr geändert; sie werden bloss durch das Drehen des Siebes und etwaige andere Nachhülfe fortbewegt. Sie erfahren also bloss Ortsänderung, a b e r m i t d e r Z u t h a t, d a s s s i e g e m e s s e n w e r d e n. A u f d a s i n §. 108 b e s p r o c h e n e M e s s e n l ä u f t d a s S i e b v e r f a h r e n h i n a u s.

Werden über das senkrecht gestellte Loch des Lehrringes in Fig. 607 kugelige oder kugelähnliche Stücke hingeschoben oder hingerollt, von denen manche dünner sind, als ein die Bohrung füllender Cylinder, so können diese Stücke von der Schwere, also kraftschlüssig, durch die Bohrung hindurchgeführt werden; sicherlich können dickere Körner nicht durchfallen. Auf diese Weise kann eine Platte, die solcher Bohrungen eine grosse Zahl darbietet, die Scheidung von Körnern nach der Grösse bewirken, ohne dass der Arbeitende die Bohrungsweite zu kennen braucht, also ohne ein Urtheil über das Mafs der Körperchen fällen zu müssen. Wie weit solch eine Sonderungsarbeit gehen kann, wissen wir von den Sichtmaschinen der Mühlen, und noch genauer von der Zementfabrikation her, wo auf Sieben von 5000

Maschen auf 1 qcm das gute Zementmehl höchstens $^{18}/_{100}$ Rückstand lässt, d. h. wo so gemessen wird, dass die durchfallenden Körnchen etwa $^{1}/_{10}$ mm Dicke haben. Dieses Messen und das daran sich schliessende Ordnen ist eine der wichtigsten technischen Arbeiten in der Müllerei der genannten Stoffe, ist somit zu den technologischen Verfahrungsweisen zu zählen.

b) Sonderung nach dem Gewicht

Das Ermitteln des Gewichtes von Körpern mittelst der Maschinen, die wir Waagen nennen und deren wir oben eine ganze Reihe besprachen, ist schon ein ausgebildetes Verfahren, erfordert aber immer noch Mitwirkung des Urtheils des die Waage Benutzenden. Die wachsenden Anforderungen der Industrie haben aber dahin geführt, das Wägen ebenso selbstthätig von der Maschine vollziehen zu lassen, wie das besprochene Sieben.

Beispielshalber sei auf die Reisert'sche Getreidewaage hingewiesen), die in regelmäſsigem Gange Getreidemassen wägt und zwar so genau, dass sie bei uns und in Frankreich aichfähig ist. Ein anderes Beispiel bietet die ausgezeichnete „Münzplatten-Scheidemaschine" von Seyss, Fig. 624 (a. f. S.), die die aufgegebenen Münzplatten nach sechs Gewichtsstufen ordnet. Eine Wägung dauert 17 Sekunden, so dass deren 2100 stündlich geschehen**). Die „Reiterlein" II, III, IV, V messen Gewichtsunterschiede.*

Gröbere Sonderungen gleichgrosser Werkskörper nach dem Gewicht sind für die „Aufbereitung" der Erze ausreichend, aber doch erforderlich. Sie sind namentlich im deutschen Hüttenwesen durch, oft sehr fein erdachte Arbeitsweisen auf eine hohe Stufe gebracht worden. Die Klaubetafel ist ein grobes verfestigtes (s. §. 106) Handsieb, über dem schon Scheidung nach Urtheil, ob Erz, ob taubes Gestein vorliegt, stattfindet. Danach aber kommt, wenn die Erzstücke zerkleinert sind, die Siebtrommel zur Anwendung, und nach dieser die Setzmaschine. In ihr werden mittelst steigenden und fallenden Wasserstromes die tauben Körner nach oben, die haltigen nach unten auf dem Setzsieb zusammengebracht.

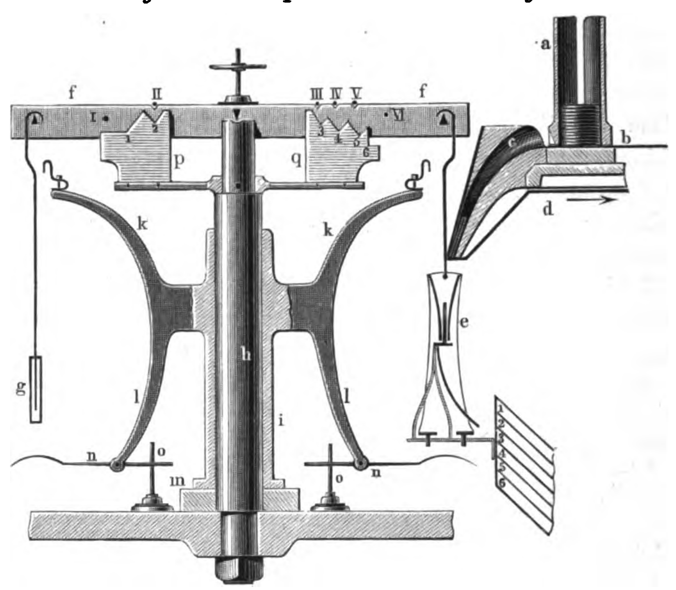
Dieser geschickten Setzarbeit und den zahlreichen ihr anhängenden Verfahrungsweisen ist in unsrer „rotirenden" Zeit die Schleudertrommel zur Seite getreten, mittelst der es gelungen ist, in Flüssigkeiten beieinander befindliche, sehr feine

*) S. Kick u. Gintl, Techn. Wörterbuch X S. 209.

**) Amtl. Ber. ü. d. Wiener Weltausstellung, Braunschweig 1874, II S. 125.

Körner nach dem spezifischen Gewicht zu sondern. Die in Tausenden von Ausführungen jetzt in der Landwirthschaft thätigen Milchschleudern, die wesentlich aus Schweden und Dänemark zu uns eingezogen sind, aber in Baiern vorzügliche Verbesserungen

Fig. 624 Münzplatten-Scheider von Seyss



erfahren haben, sind solche Maschinen zum Sondern nach dem Gewicht. Nach Biffens junger Entdeckung (s. Chemikerzeitung 1899) gelingt es auch, die Kautschukkügelchen aus dem Milchsaft der diesen Saft erzeugenden Bäume mittelst der Schleudertrommel auszuscheiden, anstatt den Kautschuk nach dem alten Räucherungsverfahren aus dem Saft zu gewinnen.

c) Sonderung nach Form

1. Beispiel. Den Getreidekörnern sind häufig runde Unkrautkörner, wie die der Kornrade, beigemengt, welche, wenn mit vermahlen, schädlich wirken. Es sind also hier Körner von ungefähr gleicher Grösse, aber verschiedener Form vermischt. Sie werden getrennt oder gesondert auf der Auslese- oder Verlesemaschine, deren Haupttheil eine Trommel mit inneren Näpfchen ist, in denen die kugeligen Radekörner liegen bleiben, während die länglichen Roggenkörner über dieselben hinweggleiten. Die Maschine wirkt vorzüglich.

2. Beispiel. Der Klettenwolf sondert von der Rohwolle die derselben oft in grosser Menge anhaftenden kugeligen Kletten ab. Auch hier findet Sonderung nach der Form statt.

Man könnte wegen aller drei hier besprochenen Verfahren in Zweifel gerathen, ob sie als Gegenstände der Technologie anzusehen seien, da sie an den kleinen Körpern keinerlei Formänderung vornehmen, vielmehr dieselben nur Ortsänderungen, allerdings mit sehr eigenthümlichen Nebenbedingungen, unterwerfen. Der Zweifel ist berechtigt, aber auch zu heben. Man hat nämlich das ganze Haufwerk, das in den drei Fällen der Maschine übergeben wird, als eine Ganzheit anzusehen, etwa ähnlich einer knetbaren Masse überhaupt, die nun aber auf der Maschine „gestaltet“ werden soll, vielleicht in Kugeln getheilt, vielleicht in Ziegel oder sonst kleine Einheiten. Hier in den drei verschiedenen, aber verwandten Fällen wird die Ganzheit einmal in gleich grosse, das anderemal in gleich schwere (und ebenfalls gleich grosse), das drittemal in ungefähr gleich grosse, aber ungleich geformte kleinere Einheiten gestaltet. Als Einheiten, in die das Haufwerk zu gestalten war, hat man auch die Gruppen von unter sich gleichen Theilen anzusehen, die in den Fächern: unter der Siebtrommel, an der Goldwaage, hinter den Setzkasten, neben der Milchschleuder, unter der Verlesetrommel sich mehr oder weniger gefüllt zeigen, wenn die Arbeit beendet ist. Somit hat man in den drei Fällen die Arbeit der Ortsänderung zugleich als eine solche der Formänderung anzusehen und sie demnach in das Gebiet der Technologie zu rechnen.

§. 115

Neue allgemeine Technologie

Werfen wir nunmehr einen Rückblick auf die angestellten Untersuchungen über die „Gestaltung“, so bemerken wir, dass wir darin ein grosses Gebiet durchwandert haben. Zuerst stellten wir theoretisch fest, was die Wirkung im gestaltenden Paar kinematisch bedeute. Dann ermittelten wir, dass aus den drei Gattungen kinematischer Elemente neun Gattungen der Einwirkung des Werkzeugs auf das Werkstück folgen. Indem wir dies an Beispielen Schritt für Schritt erörterten, führte unser Weg uns durch alle Fächer, die in den Lehrbüchern der mechanischen Technologie durchgenommen werden. Ja, unser Weg führte uns noch viel weiter. Es zeigte sich, dass in diesen Lehrbüchern

erstaunlicher Weise die Müllerei fehlt*); auch fehlen die meisten landwirthschaften und Aufbereitungsmaschinen, gerade als ob der Müller, der Landbauer und der Bergmann für sich anzufangen hätten, Maschinen zu erfinden. Man hat dies alles sich selbst, oder vielmehr der Behandlung in Einzelschriften überlassen, während doch der Maschinenbauer die schwierigsten Aufgaben gerade in den erwähnten Fächern zu lösen hat (vergl. S. 553). Das alles ist um so auffallender, als diese Maschinen unter Karmarschs Begriffsbestimmung (s. §. 104) gerade so gut passen wie irgend eine der andern Verfahrungsweisen, „vermöge welcher die rohen Naturprodukte zu Gegenständen des physischen Gebrauchs durch menschlichen Kunstfleiss verarbeitet werden".

Hier, am Endpunkt unsrer Betrachtungen, dürfen wir noch einen prüfenden Blick auf diesen Satz werfen. Es tritt uns dabei entgegen, dass das Wort „verarbeitet" keineswegs immer passt. Denn das bedeutet in erster Linie „gänzlich aufbrauchen" und erst in zweiter: „durch Umgestalten des bisherigen Zustandes, besonders durch Verbindung mit andern Gegenständen, umformen, verändern" **). Die erstere Bedeutung, vom Aufbrauchen, passt in der Technologie nur selten. Hoyer hat in richtiger Erkenntniss der Wichtigkeit solcher grundlegenden Gesetze auch „Umwandlung" statt „Verarbeitung" gesagt***). Unsre „Ge-

---

*) Nicht nur bei Karmarsch und bei Hartig, sondern auch der jüngeren, so selbständig verfahrenden Technologie von E. v. Hoyer, selbst in deren neuester (3ter) Auflage.

**) Wülcker, Grimms W. B. Bd. XII S. 83. Treffliche Anführungen daselbst, u. a.: wie der Fassbinder Cypressenzweige zu Tonnenreifen „verarbeitet".

***) Bei Hoyer ist nur die, von den Vorgängern stammende Umwandlung „der rohen Naturprodukte in Gegenstände für den Gebrauch des Menschen" ein Zusatz, dem man nur in vereinzelten Fällen zustimmen kann. Schon oben, S. 669 wurde der Techniken, die zerstören sollen, als im Widerspruch stehend gedacht; das gilt von dem uralten Widder, dem antiken Mauerbrecher, bis herauf zur hoch ausgebildeten Tunnelbohrmaschine. Und wie stünde es denn mit dem, was die Futterschneidmaschinen liefern, „für den Gebrauch des Menschen"? Hoyers geschätztes Werk selbst widerspricht den „rohen Naturprodukten", z. B. in der Weberei, die doch nur selten etwas Anderes umgestaltet, als bereits entwickelte Industrie-Erzeugnisse; die Papierfabrikation „ver"arbeitet — diesmal ist „ver" nicht unrichtig — für ihre besten Erzeugnisse Reste aus der Weberei; der ganze dritte Abschnitt des I. Bandes bei Hoyer handelt von den Arbeiten zur „Vollendung, Verschönerung und Konservirung" fertiger, durchaus **nicht** roher Naturerzeugnisse. Es ist wieder die nicht räthliche Hineinziehung des Zweckes, die, wie bei Hrn. Becks Einwendungen S. 243, unnöthige Schwierigkeiten und Widersprüche hervorruft.

staltung" besagt alles Nöthige, wenn wir uns wie folgt ausdrücken:

XXV. Die mechanische Technologie ist die Lehre von der Gestaltung von Körpern durch mechanische Bearbeitung.

So weit nun diese mechanische Bearbeitung von Körpern durch die Maschine stattfindet, sei es vollständig, sei es unter ergänzender Mitwirkung der Menschenhand, hat sie sich vermöge unsrer Verfolgung der neun Einwirkungsarten des Werkzeuges völlig übersichtlich darstellen lassen. Denkt man das eingehender und nach dem Stand der Technik vollständiger durchgeführt, so ergibt sich eine, allen Einzeltechniken der zwangläufigen Gestaltung voranzustellende Maschinen-Technologie.

Diese Technologie ordnet und lehrt nach den strengen Gesetzen, die aus Mechanik und Geometrie für den Zwanglauf folgen. Die Technologie der geschichtlich älteren Handarbeiten enthält nicht, wie Viele*) annehmen, die Maschinen-Technologie vorgebildet in sich. Das beweist sich schon darin, dass unsrem Gliederbau die wichtigste aller Maschinenbewegungen, die fortgesetzte Drehbewegung oder Fortdrehung fehlt. In äusserst langsamen Schritten hat sich die Menschheit den Zwangsbewegungen genähert, die im Wesen der Bewegungsgesetze zeitlos enthalten sind. Darum ist es für den höheren Unterricht — nicht für den mittleren und niederen! — richtig, die Handtechnologie der Maschinentechnologie unterzuordnen oder anzugliedern, statt wie bisher, das Umgekehrte zu thun. Man mag bei dieser Angliederung den Stoffen folgen, wo dies zweckmäfsig scheint, oder den Gewerben nachgehen, wo das sich mehr empfieht, sollte aber immer die strenge Maschinentechnologie als Leiterin nehmen. Auf diese Weise wird man zu einer

allgemeinen mechanischen Technologie

gelangen, die nach meiner Ansicht die Grundlage des mechanisch-technologischen Unterrichtes an der Hochschule künftig bilden sollte. Ausgang ist die Einwirkung des Werkzeuges auf das Werkstück. Je nach dem Stoff des letzteren ist das Werkzeug einer und derselben Gattung abweichend zu bilden, behält aber sein Hauptwesen bei; durch die „Messung", deren Hülfsmittel

*) Auch Hartig, wie aus verschiedenen Stellen seiner „Studien" deutlich zu folgern ist.

einen wichtigen Unterrichtstheil zu bilden haben, wird ihre Wirkung beobachtet. Der Stoff aber rückt aus seiner jetzigen unhaltbaren Voranstellung in die zweite Linie.

Mit einem solchen Unterricht, wenn er unterstützt ist durch eine sorgfältig angelegte, aber eng beschränkte Sammlung, könnte man Ausserordentliches erreichen, würde ungezählte Wiederholungen ersparen, könnte schöne Versuche mit dem Vortrag verbinden und durch Fabrikbesichtigung das Einzelne verschärfen, bliebe aber unausgesetzt auf dem streng wissenschaftlichen Wege. Eine solche Technologie würde jeden künftigen Ingenieur anziehen, während jetzt die Fachvereinzelung, die die Ordnung nach Stoffen mit sich bringt, nur Wenige anzieht. Mancher künftige Ingenieur bringt nur ein ganz geringes Interesse für Spinnerei und Weberei an die Hochschule mit, noch weniger vielleicht für die Mahlmühlen; aber die mechanischen Mittel durchschauen zu lernen, mit denen in beiden Fällen die technischen Wirkungen hervorgebracht werden, das fesselt ihn, weil er sich selbst, den Mechanismen-Entwerfer, darin wiederfindet. Wenn ihn später das Leben in ein solches Einzelfach hineinführt, so fasst er rasch festen Fuss, weil er die Arbeitsmittel versteht. Vielemale haben mir das meine ehemaligen Zuhörer bestätigt.

Dass der heute noch befolgte Weg in dem ungeheuer angewachsenen Gebiet nicht mehr zum Ziele führt, haben wir gesehen. Es fehlen ja in den Lehrbüchern trotz ihrem Umfang verschiedene wichtige Fächer, während nicht hingehörige behandelt sind. Wenn Etwas für die Werkstatt wichtig ist, so ist es doch das Messen, und die Gelehrsamkeit für die Werkstatt liegt doch bei der Technologie; aber selbst bei dem sorgfältigen Hoyer (der mit Recht die Schlösser und Uhren fallen gelassen hat) ist auch neuerdings (1897) nichts davon zu finden, selbst nicht von dem Messbolzen Fig. 614, obwohl dieser auch bei uns*) vorzüglich angefertigt wird, noch weniger von den Messmaschinen, überhaupt von dem Wesen der Genauigkeitsmessung, die doch die Grundlage des Austauschbaues ist. Ohne diesen hätte Deutschland seine beiden Infanteriegewehre nicht herstellen können, noch auch seine neuen Feldgeschütze; auf ihm beruht die Herstellbarkeit der Nähmaschinen zu billigem Preise, auch die der Bogenlampen usw.

---

*) Ich verweise hier nochmals auf meine „Mittheilungen ü. d. am. Masch.-Industrie“ in den Berliner Verhandlungen 1896, in denen ich ausführlich auf alle diese Dinge eingegangen bin.

Die grossen Fortschritte im Schleifen durch die Maschine, wobei zu 400steln des Millimeters als messbarer Schichtdicke gegangen wird, fehlen soviel wie gänzlich bei Hoyer. Auf alles das führt aber ganz regelrecht und nothwendig die genaue Verfolgung der Werkzeug-Einwirkung *).

Die reissende Zunahme der technologischen Vereinzelungen ist nach meiner Ueberzeugung nicht anders lehrbar zu machen oder lehrbar zu erhalten, als durch die wirklich wissenschaftliche, auf das innere Wesen des Gegenstandes gerichtete Behandlung, nicht aber durch Vergrösserung der Stundenzahl; unsre Studirenden sind schon jetzt überlastet. Der Stoff ist, mit anderen Worten, nur zu bewältigen durch Verbesserung der Lehrweise, und diese Verbesserung muss beruhen in deren Wissenschaftlichkeit. Die Wissenschaft im Unterricht oder in dessen Aufbau hat von jeher verkürzt; man vergleiche nur den Sprachenunterricht von jetzt mit dem vor fünfzig Jahren; je weiter die Wissenschaft hier eingedrungen ist, um so knapper und dennoch inhaltreicher, ohne mit Gelehrsamkeit zu prunken, ist er geworden. Das gibt Fingerzeige für den technologischen Unterricht. Vorlesungen, die die besonderen Industrien im Einzelnen behandeln, lassen sich neben der „allgemeinen mechanischen Technologie", die ein Hauptfach sein und einer Kraft hohen Ranges übertragen sein sollte, je nach der bevorzugten Landes-Industrie einrichten.

§. 116

Ueberblick über das Ganze der Maschinengetriebelehre

Nun wir am Ende unsrer Darlegung der praktischen Beziehungen der Kinematik angelangt sind, sei noch ein Blick auf

*) Nicht unterlassen will ich, hervorzuheben, dass Hoyer in der Einleitung seines, dem Fortschritt huldigenden Buches die Ansicht ausspricht, dass eine „allgemeine Technologie" ihren Werth haben könne. Er meint aber etwas Anderes, als oben gemeint ist, nämlich eine Gruppeneintheilung, in der z. B.: „alle Metallarbeiten, alle Holzarbeiten, die Spinnerei aller Faserstoffe, die Weberei aller Fäden, je für sich einzelne Gruppen bilden", setzt indessen hinzu: „da diese Vereinigung wegen der Verschiedenartigkeit der Rohstoffe wohl nicht zu erreichen sein möchte, so sei auch die Bezeichnung „allgemeine Technologie" nur innerhalb der einzelnen Gruppen gerechtfertigt". Hoyer bleibt also beim Ausgehen von den Werkstoffen, würde sie nur etwas entschiedener an die Spitze jedes Abschnittes stellen. Theoretisch förderlich würde das aber nach meiner Ansicht kaum sein.

die Gesammtheit dessen, was diese Wissenschaft für die Maschinenlehre zu leisten vermag, geworfen. Wir sehen zuerst, dass sich vom kinematischen Standpunkte aus drei Arten der Analysirung der Maschine durchführen lassen:

die Elementar-Analyse,
die Bau-Analyse,
die Getriebs-Analyse.

Die Elementar-Analyse bildete wesentlich den Inhalt des ersten Bandes. Sie zeigte, was bei dessen Erscheinen völlig neu war, aus welchen Elementen, d. i. wissenschaftlich bestimmbaren Einheiten die Maschine gebildet ist, und dass dieselben zu „Paaren“ und zu Gruppen von Paaren oder „kinematischen Ketten“ zusammentreten und dadurch einen Bewegungszwang ermöglichen. Dabei wurden die starren und die bildsamen Elemente unterschieden und letztere wieder in Zug- und Druckelemente getheilt. Die letztere Eintheilung ist im nun Erledigten noch weit wirksamer und bestimmter durchgeführt worden.

Die Bau-Analyse zeigt, dass und wie die Glieder der kinematischen Ketten selbst ebenfalls aus kinematischen Theilgruppen durch sog. übermäſsige Kettenschliessung hergestellt werden können und in zahlreichen Fällen wirklich hergestellt werden. Für sich genommen ist die Bau-Analyse ein grundwesentlicher Theil der Lehre von der Konstruktion oder dem Bau der Maschinen sowohl, als sehr vieler Werke des Bauingenieurwesens. Die kinematische Bau-Analyse ist in steigendem Maſse in den Hochschulunterricht des Bauingenieurs schon zur Einführung gelangt. Ein hier noch hervorzuhebendes Ergebniss unsrer Bau-Analysirung ist die begriffliche Klärung dessen, was Kolben und Gehänge sind. Beide hatten bisher keinen sicheren Stand unter den Maschinen-Elementen; man schob sie hierhin und dorthin. Unsre Analyse hat sie nunmehr als die Anschliesser der bildsamen Elemente an die starren Elemente erwiesen; die Kolben sind Anschliesser der Druckelemente oder Flude an starre Gebilde, die Gehänge, Haken, Seilbuffer sind Anschliesser der Zugelemente oder Tracke an starre Gebilde.

Die dritte Zerlegungsweise, die sehr umfangreiche getriebliche oder Getriebsanalyse legt dar, in welcher Weise die kinematischen Ketten zu Bewegungszwecken benutzt werden und überhaupt benutzbar sind. Wenn ausführlich behandelt, bildet diese

dritte Analyse den Lehrstoff der „angewandten Kinematik“. Eines ihrer Hauptergebnisse ist, dass die Anzahl der Mechanismen oder Getriebe nicht gross ist. Damit ist eine Vereinfachung von ausserordentlicher Tragweite gewonnen. Denn während die ältere Anschauung vor einer endlosen Masse von Aufgaben steht, ordnen sich letztere hier in wenige klar geordnete Reihen von Lösungen, die je eine gemeinsame Hauptanordnung der zusammentretenden Theile haben, obwohl sie in ganz verschiedenen technischen Gebieten ihre Verwendung finden und deshalb bisher vereinzelt waren und sehr weit auseinander lagen.

Die Getriebs-Analyse führte nämlich auf sicherem Wege dahin, dass sich deutlich vier streng trennbare Bestimmungen der zu den Zwangsbewegungen aus Elementenpaaren gebildeten Gruppen von Theilen oder „Getrieben“ unterscheiden lassen. Als ihre Bestimmungen erkannten wir:

Leitung, Haltung, Treibung, Gestaltung.

Man hatte bis dahin eine solche Klasseneintheilung, die ich in meinem „Konstrukteur“ in dessen vierter Auflage schon praktisch benutzte, nicht gemacht, sondern die Meinung gepflegt, als ob die Kinematik bloss die zuerst genannte Bestimmung, die der „Leitung“ zum Gegenstand habe. Dies war auch in den ersten Schriften, die sich mit den Mechanismen beschäftigen, der Fall — es war vor rund einem Jahrhundert — indem man die „Verwandlung der Bewegungen“ als Hauptgegenstand dieser Wissenschaft ansah. Auch der streng wissenschaftlich vorgehende Ampère verfuhr nicht anders (vergl. S. 148 ff.). Daraus war nachgerade bei dem Praktiker, der die grossartige Entwicklung des Maschinenwesens, die unser Jahrhundert gezeitigt hat, mit durchmachte, die Anschauung hervorgegangen, dass die kinematische Theorie nur für ganz wenige feinere Fälle, die obendrein zu den verwickeltsten gehörten, hülfreich sei, für die gewöhnlicheren Aufgaben, in denen es sich um grosse Kräfte handelt, aber entbehrt werden könne. Das gerade Gegentheil, nämlich, dass für die anscheinend „einfacheren“ Aufgaben die Kinematik ausserordentlich fördernd wirkt, hat sich aus unsren Untersuchungen ergeben. War doch selbst die Schraube, trotz ihrer ungeheuren Anwendungszahl, bei der alten Auffassung ungenügend verstanden. Dies wurde schon im ersten Band (1875) und ausführlicher dann in den Berliner Verhandlungen (1878) wie später in meinem

„Konstrukteur“ IV. Aufl. (1882) gezeigt. Die „Kernschraube“ und die völlige Gleichbedeutung von Schraubenspindel und Schraubenmutter wies ich nach. Weiter unten (§. 120) habe ich zu zeigen, dass von beidem die Natur Anwendung macht; die vorgetragene kinematische Theorie wies die Fälle auf, ohne das die Naturbeispiele bekannt waren. Die Anschauungen vom „Hebel“, den wir als nichts Anderes erkannten (Bd. I S. 274) als die Aufgabe vom Gleichgewicht der Kräfte im „Cylinderpaar“, wie unklar sind sie in der alten Theorie! Das gilt von den „einfachen Maschinen“, diesen ehrwürdigen Ueberständern aus dem Alterthum, überhaupt; fehlen doch darin gänzlich die unsagbar wichtigen Druckelemente! Die Reibung, wie kümmerlich wurde und wird sie theilweis noch behandelt, indem man ihr abspricht, Bewegung hervorrufen zu können, obwohl in Hunderten von Formen davon Gebrauch gemacht wird. Alles das hat die Kinematik aufgehellt.

Die vier vorhin genannten Bestimmungen zerfallen nun wieder jede, wie sich gezeigt hat, in einzelne Abtheilungen, denen wir eine weitgehende Behandlung durch Beispiele angedeihen lassen konnten, ohne die ganze Vollständigkeit erschöpfen zu müssen.

Bei der „Leitung“ unterschieden wir:

Kurvenführung, *Geradführung*,
Parallelführung, *Lagenführung*.

Der Werth der „Phoronomie“, die den Gegenstand des ersten Abschnittes bildet, trat dabei in besonders helles Licht. Auch erwies sich die, strenger als früher durchgeführte Aneinanderreihung der „starren“, der „Zug“- und der „Druck“-Elemente als besonders nützlich und vereinfachend. So ergaben sich, um ein Beispiel anzuführen, die Waagen, die Seilspinnmaschinen, die Hubdocke, die Schlipfe, die Trogschleusen, aber auch die Walzwerke und auch die Stickmaschinen als ganz nahe nebeneinanderliegend, weil ihre Hauptmechanismen sich als ganz dieselben erwiesen; der einmal für sie scharf bestimmte Grundsatz gilt daher für alle zugleich und macht das jedesmalige Wiederanfangen der Einzeluntersuchung überflüssig.

Den Begriff der „Haltung“ hatte die bisherige Maschinenlehre gar nicht theoretisch ausgesondert. Er hat uns in zahlreichen Formen beschäftigt (S. 347 — 371) und erweist sich als ausserordentlich fruchtbar. Alle drei Elementengattungen, die „starren“,

die „Zug“-Elemente oder Tracke, die „Druck“-Elemente oder Flude erwiesen sich als geeignet zu Haltungen, d. i. Vor- oder Einrichtungen zum Aufsammeln und geeigneten Verwenden von Arbeitsvermögen (Energie). Die ungezählten Wasser-, Luft-, Gas-, Dampfbehälter, die Wasserhaltungen für Gruben und für Schiffahrtskanäle, die Polder, die Thalsperren, auch die natürlichen Seen, die Gasquellen, die Kondensatoren, die Windkessel, ferner die Schwungräder als Träger von lebendiger Kraft, desgl. die Gangregler (Regulatoren), sodann die Getreidebehälter, die Kohlenrümpfe, weiterhin die Druckhalter für Hochdruckwasser und die Stromhalter für Elektrik (beide Akkumalatoren genannt) und andere mehr, alle erweisen sich als aus dem Haltungsbegriff hervorgehende, einen Zwanglauf vermittelnde Anlagen, Vorrichtungen oder Vorkommen von fast unbeschreibbarer Nützlichkeit.

Sehr formenreich ist die dritte Bestimmungsklasse, die „Treibung“. Während Haltung nur Arbeitsvermögen sammelt und zum Gebrauch irgend einer Art gelangen lässt, verbraucht es die Treibung in bestimmter Weise. Es wurde gezeigt, dass sich die Treibvorrichtungen gemäfs dem Wesen der kinematischen Ketten nach folgenden sechs Gattungen unterscheiden lassen:

Schraubentrieb,	*Kurbeltrieb,*	*Rädertrieb,*
Rollentrieb,	*Kurventrieb,*	*Gesperrtrieb.*

Alles „Treiben“ in den Maschinen fällt unter diese schlichte Eintheilung, die ein ganz ungeheures Gebiet der Industrie in sich fasst. Das Einsetzen von Fluden in Triebe, deren Bildung aus starren Elementen leichter verständlich ist, führt zu den Wasserkraft-, Dampfkraft-, Gaskraftmaschinen usw. Bei den Schrauben- und den Rädertrieben führt die kinematische Untersuchung auf geradem Wege zu einer klaren Unterscheidung zwischen den eigentlichen „Turbinen“ und den Flud-„Rädern“, eine Unterscheidung, die angesichts der neuen, als Schaufelräder gebildeten Dampfkraftmaschinen wichtig geworden war. Am reichsten von allen sechs Trieben erweist sich der Gesperrtrieb, eine kinematische Vorrichtung, die die bisherige Maschinenlehre gar nicht ausgesondert, gar nicht als geschlossene Gattung erkannt hatte. Der Reichthum an Anwendungen des schlichten Sperrtriebs, den ich in meinem „Konstrukteur“ schon recht ausführlich behandelt hatte, ist so gross, dass er sich nicht in kurze Worte fassen lässt. Aber die Zurückführbarkeit so zahlreicher Mechanismen

und vollständigen Maschinen auf das Gesperre in dessen sechs Formen:

Sperrwerk,	*Spannwerk,*	*Fangwerk,*
Schaltwerk,	*Schliesswerk,*	*Hemmwerk,*

führt auch zu so grossen Erleichterungen des Verständnisses, dass das Studium der Treibungsformen sich hier als im höchsten Grade lohnend erweist.

Die vierte der Getriebsbestimmungen, die „Gestaltung", bleibt nicht hinter den andern an Verwendbarkeit zurück. Was sie nach dem Dargelegten bietet, ist eine durchgreifende Neuordnung des Lehrstoffes der „mechanischen Technologie". Diese ist bei ihrem bisherigen Verfahren, wobei sie ihren Stoff vom Erfinder oder vom geschickten Weiterbildner übernimmt, auf die wohl begreiflichen Schwierigkeiten gestossen, die die maſslos gewachsene Fülle der Formen nothwendig mit sich gebracht hat; die älteren Grundlagen erwiesen sich gegenüber dieser Last von Neuheiten als nicht mehr stark genug. Unsre kinematische Untersuchung lehrt dagegen einen festen Aufbau der Fülle der Aufgaben kennen. Zunächst ermöglichte sie eine Theorie des „Werkzeugs", die zu dem einfachen Satz gelangt, dass dasselbe entweder ein kinematisches Element oder ein kinematisches Kettenglied ist, und dass ganz dasselbe vom „Werkstück" gilt, und zwar so, dass diese beiden ein kinematisches Elementenpaar bilden. Daraus folgt aber sodann, da es nur drei Elementengattungen gibt — starre Elemente, Tracke und Flude — dass man deren gegenseitige Einwirkungen auf dreimal drei oder

neun Paarungen zwischen Werkzeug und Werkstück

stets zurückführen kann. Dadurch werden die überhaupt zur Verfügung stehenden Verfahrungsweisen überschaubar und auch theoretisch darstellbar, was für den wissenschaftlichen Unterricht Grundbedingung ist und ihn vom empirischen Vorführen unterscheidet.

Somit führt denn auch hier die Kinematik vermöge ihrer, ihr eigenen Untersuchungsweise immer wieder zu Vereinfachungen und zur Erleichterung des Verständnisses, wie es die Aufgabe jeder wirklichen Wissenschaft ist.

DRITTER ABSCHNITT

KINEMATIK

IM

THIERREICH

EINE STUDIE

Kinematik im Thierreich

§. 117

Zwanglauf in Lebewesen

Die Gesetze des Zwanglaufes, die, wie im Vorausgehenden gezeigt wurde, für alle Maschinengetriebe gelten, sind geometromechanische Gesetze, d. h. sind mechanisch und geometrisch zugleich. Mechanischer Natur sind sie wegen der auf die Theile und aus diesen heraus wirkenden Kräfte, wie in Bd. I §. 1 ausführlich gezeigt wurde, geometrischer, und zwar bewegungsgeometrischer oder phoronomischer Natur (vergl. S. 10) sind sie wegen der Formen und gegenseitigen Bewegungen der einander „umschliessenden“ und „umhüllenden“ Körper, die die Maschine zusammensetzen. Die Bewegungen im Thierkörper hängen nun auch von den Formen und der Widerstandsfähigkeit der betheiligten Gebilde ab; es müssen deshalb auch hier die Zwanglaufgesetze eine gewisse Geltung haben. Auf diese Fälle sei versucht, noch hinzuweisen, allerdings nur im Umriss, da, wie bisher, nur auf Beispiele eingegangen werden kann.

Es ist ja selbstverständlich, dass die hierbei auftauchenden Fragen einer eingehenden und ausführlichen Beantwortung bedürfen. Die Mannigfaltigkeit dieser Fragen ist so gross, dass sie zu den Eintheilungen, die üblich geworden sind, gleichsam gezwungen hat, um Uebersichten zu ermöglichen. Das hat denn dahin geführt, das die Forschungen auf den verschiedenen Gebietstheilen sehr unabhängig von einander geworden waren. Erst die Entwicklungslehre hat deren Grenzen wieder theils verwischt, theils in breite Uebergänge aufgelöst. Hier bei uns fallen die klassischen Gebietsgrenzen ganz ausser Betracht, da es sich um Dinge handelt, die allen Theilgebieten gemein sind. Das Fol-

gende in seiner Kürze soll immerhin nur einige hervorragende Gesichtspunkte freilegen, von denen aus die Menschenschöpfung Maschine die Einsicht in einen der Wirkungskreise der Natur etwas erleichtern kann.

Dies scheint auf den ersten Blick nur für die Gelenke zuzutreffen. Bei näherer Betrachtung aber treten nicht nur die Gefässe mit ihrem flüssigen Inhalt hinzu — denn auch die thierische Ausrüstung besteht aus „starren", aus „Zug"- und aus „Druck"-Elementen (vergl. S. 154) — sondern auch die Verbindungen aus mehreren Gebilden, die den uns bekannt gewordenen kinematischen Kettengliedern (S. 165) ähnlich bis völlig gleich sind. Auch hier werden demnach kinematische Gesetze Geltung haben. Die hierbei vorzunehmenden Untersuchungen sind das, was man wohl die grobe Anatomie genannt hat, neben der die Ermittlung der Verursachungen und vor allem der Entwicklung der Formen auseinander die feinere Forschung darstellt. Die erstere bleibt aber immer nöthig. Auch scheint es, als ob ein unausgesprochenes Einverständniss zwischen den „Wissenschaften des Erkennens" und denen „des Schaffens" (§. 24) in Betreff der Arbeiten auf dem Grenzgebiet bestehe, indem es eine technische Hochschule, die von Darmstadt, war, die vor einiger Zeit eine Preisaufgabe über die Gelenkbewegungen der Krebsthiere ausschrieb*).

Schon Willis machte 1841 in seinen *Principles of mechanism* (S. 282) auf gerade diese Aufgabe aufmerksam; die wenigen, sehr guten Bemerkungen, die er dazu beibrachte, wurden von Laboulaye in seine *Cinématique* (S. 329) ungeändert übernommen**). In der Preisschrift ist ungleich weiter gegangen. Zahlreiche Messungen sind ausführlich vorgelegt; wir erfahren zum erstenmal ganz Zu-

*) Programm für 1891/93 und 1893/94: „Es soll die Artikulation der Füsse des Flusskrebses im Allgemeinen beschrieben und wenigstens für ein Paar möglichst genau angegeben werden, welche Winkel die Ebenen mit einander bilden, in denen die einzelnen Stücke sich gegenseitig bewegen. Daran ist die Schilderung bestimmter Wege, die von der Spitze des Endgliedes ausgeführt werden, bei feststehendem Basalglied, möglichst auf Naturbeobachtung gegründet, anzureihen." — Preisträger wurde Dr. Th. List, sieh seine ‚Morphologisch-biologischen Studien über den Bewegungsapparat der Arthropoden' im morphol. Jahrbuch 1892, S. 380 ff. und ‚Mittheilungen der zool. Station zu Neapel' 1896, S. 74 ff.

**) So treu, dass er *the common crab*, zu deutsch „der gemeine Krebs", mit *le crab commun* übersetzt, augenscheinlich, ohne Krebsbein und Krabbenbein, Flussthier und Seethier, je verglichen zu haben.



verlässiges darüber, wie das Thier seine verschiedenen Glieder benutzt, wie es zieht, drückt, schiebt, schwimmt, und auch wie sich sein Bau den gegebenen Lebensbedingungen jeweilig angepasst hat. Sehr wenig aber ist beigebracht über den Bau der Gelenke selbst, was allerdings die Fragestellerin nicht verlangt zu haben scheint*), für uns aber recht wichtig wäre.

Ueberhaupt ist für das Verständniss des Zwanglaufs im Thierkörper die Gelenklehre von der grössten Bedeutung. Die anatomische Forschung ist dem entsprechend auch vorgegangen, naturgemäss in erster Linie an den Wirbelthieren. Die Schwierigkeiten, die sich hier der wissenschaftlichen Untersuchung entgegenstellen, sind aber ungeheuer. Einestheils wegen der bei den Wirbelthieren bestehenden grossen Freiheit der Theile, deren Bewegungen durch den Willen geleitet werden, aber dafür auch mit einem reichen Rüstzeug — z. B. den 40 Muskeln am menschlichen Arm — ausgestattet sind, anderntheils, weil die Gelenke der Wirbelthiere auf schmale Gebilde an dem, im Innern der Gliedmafsen liegenden Gerüst angewiesen sind. Beides hat zu schwer verständlichen Formen und deshalb Widersprüchen geführt und zwar um so mehr, je genauer auf die Entwicklungsfragen eingegangen wird**).

Ganz anders und wesentlich leichter stellen sich die Dinge bei den Thieren mit äusserem Gerüst, das sind die Kruster, verschiedene Schalthiere, die Kerbthiere oder Kerfen und auch manche Fische. Bei diesen Aussenknöchlern sind die kinematischen Stützungen (vergl. Bd. I §. 17) in den Gelenken naturgemäss an Stellen angebracht, die weit auseinander liegen und demzufolge nur wenig Beihülfe von Bändern gebrauchen, um im Eingriff erhalten zu werden; mit andern Worten, es kann Paar-

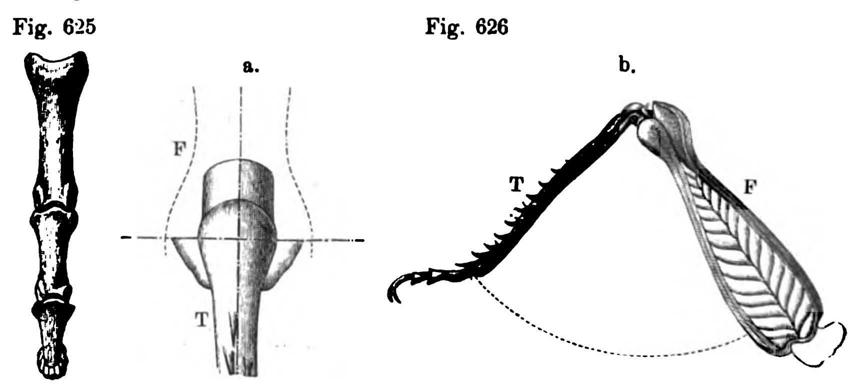
*) Wenigstens ist das nicht leicht erkennbar. Denn das Fremdwort „Artikulation" liesse sich in aller Strenge auf die Gelenkformen ganz unmittelbar beziehen, indessen auch auf die, durch Gelenke ermöglichten Beinbewegungen, wie es der Preisträger aufgefasst hat. Die Forderung, dass bestimmte Wege der Endgliedspitze zu schildern waren, liess sich nicht erfüllen. Denn das Krebsbein hat sechs aufeinander folgende Glieder; daher kann nur Form und Grösse des Raumes angegeben werden, innerhalb dessen die unendlich vielen Bahnen der Gliedspitze liegen, nicht aber eine bestimmte Bahn derselben. Das gilt auch noch, wenn unter „Basalglied" das erste an den Thierleib angelenkte Glied verstanden wird, also noch fünf bewegbare Glieder übrig bleiben (vergl. Fig. 637).

**) Vergl. Gust. Tornier, Das Entstehen der Gelenkformen, Abdruck a. d. Archiv für Entwicklungsmechanik, Leipzig 1894/95.

schluss statt Kraftschluss (s. S. 163) weit häufiger bei ihnen zur Geltung kommen, als bei den Wirbelthieren.

Man braucht nur z. B. das sogen. Knie-(Fersen-?)gelenk am Sprungbein der Heuschrecken und deren Verwandten, Fig. 626, mit unsrem zweiten und dritten Fingergelenk, Fig. 625*) zu vergleichen, um den Unterschied vor sich zu haben. Der schneiden-

Fig. 625 Fig. 626



artige Zapfen an der „Tibia" T der Heuschrecke ist ähnlich den Zapfen der Waagebalken langachsig gebaut; seine Enden laden weit aus und sind in die ebenso weit gesperrte Gabel am „Femur" F ganz aussen gelagert und daselbst mit feinem Bändchen angeheftet (s. Bandgelenk S. 156); die mächtigen Muskeln, die in das Beinrohr eintreten und es stets nach F hinziehen, sichern den Schluss**). Am Fingergelenk andererseits ist alles Stützende nach der Mitte gedrängt wie beim Gabelzapfen oben Fig. 320 b. Deshalb sind sehr starke Seitenbänder unentbehrlich, um das seitliche Ausrenken zu verhüten. Die einzige Vergleichsstelle für das Weit-Auseinanderliegen der Stützen am menschlichen Körper bietet der Unterkiefer. Aehnliches wie vom Heuschreckenbein gilt von vielen andern Gelenken am schaligen Thierkörper; die Verhinderung der auszuschliessenden Bewegungen (s. Bd. I S. 44) gelingt deshalb bei ihm mit viel einfacheren Mitteln, als beim Wirbelthierkörper.

Die Bewegungsmittel der Aussenknöchler, namentlich der Kerfen, sind in ganz ausgezeichneter Weise der Forschung unter-

*) Nach Henle, Bd. II.

**) Bei unsren Heuschrecken hat das Gelenk einen Ausschlag von rund 150°, bei der mächtig bewaffneten Euryoantha horrida aus Neu-Britannien nicht volle 60°, was deren Springfähigkeit jedenfalls sehr beschränkt.

worfen worden, die dann zu den wunderbarsten Entdeckungen geführt hat*). Ihre Gelenke dagegen hat man im Verhältniss recht wenig studirt; wir sahen es schon bei Dr. Lists Arbeit über die Krebsglieder. Die Gelenke wurden als etwas in sich Verständliches angesehen; die ganze Aufmerksamkeit wandte sich den Muskeln, Bändern und Nerven zu.

Als Grund dieser auffallenden Vernachlässigung des an Zahl der Fälle so ungeheuern Gebietes hat man wohl den Umstand anzusehen, dass die Kerfgelenke eigentlich erst durch die kinematischen Gesetze erklärbar und dann auch übersichtlich werden, was sie ohne diese Gesetze beides nicht sind. Diese Gesetze aber standen dem Naturforscher ausser in meinen Schriften nur sehr selten zur Verfügung; muss sich ja doch die Kinematik in der Maschinenlehre selbst den alten Gewohnheiten gegenüber durchringen. Wohl ist der Anatom, entsprechend seiner eignen Untersuchungsstrenge, bereit, rein wissenschaftlich zu verfahren. Was aber soll er machen, wenn er in so und so vielen Lehrbüchern der Mechanik noch breit die uralten Vorstellungen von den „einfachen Maschinen", namentlich vom „Hebel" und „Hebelgesetz" findet? Schon im I. Bande (S. 274) zeigte ich vor einem Vierteljahrhundert, dass die mit Pomp so genannten Hebelgesetze nichts anderes sind, als die durchs Kräfteparallelogramm gegebenen Gleichgewichtsbedingen der Kräfte am Drehkörperpaar**). Die alte, immer wieder fromm wiederholte Darstellung vom Hebel erster, zweiter, dritter Art behandelt obendrein eine nur kraftschlüssige, nicht einmal paarschlüssige Vorrichtung; mit unver-

---

*) Der leider schon verstorbene Forscher Vitus Graber hat in zwei vorzüglichen Schriften, „Die Insekten", München 1877, und „Die äusseren mechanischen Werkzeuge der Wirbel- und der wirbellosen Thiere", Leipzig 1886, den Gliederbau der Kerbthiere grösseren Leserkreisen in vortrefflichster Darstellung aus vorzugsweis eigenen Entdeckungen vorgeführt. Das Leben der Kerbthiere schildert Brehm in fesselnder Weise. Die Käferbücher allerdings besprechen zwar die Glieder der Thierchen, ihre Formen und Farben, zählen, theilen ein, wie es ein Sammler braucht, gehen aber auf die Gelenke nicht ein.

**) Dass eine Diagonale das Kräfte-Parallelogramm in zwei gleiche Dreiecke theilt, deren Grundlinien die Seitenkräfte und deren Höhen die Lothe auf die Kraftrichtungen sind, ist doch kein für sich dastehendes „Gesetz". Man dürfte deshalb auch in elementaren Büchern allerhöchstens von einem „Satz" vom Hebel sprechen. Der Leser wolle auch S. 199 oben vergleichen, ausserdem Weisbachs Ingenieur VII. Aufl., wo ich S. 403 diesen „Satz" behandelt habe.

wüstlicher Gelassenheit wird von einem „festen Punkte“ des Hebels gesprochen, statt von einer Achse; noch verschiedene andere alte Unbestimmtheiten hängen daran. Der Anatom muss doch glauben, dass das alles ausgemacht sei. So hält auch der scharfsinnige Graber a. a. O. den „Hebel“ für eine Art festen theoretischen Grundgebildes der Mechanik und verfällt dadurch, ohne es zu bemerken, in eine, ihm sonst völlig fremde hülflose Beweisverschleppung.

Die Kenntniss von den ersten Hauptsätzen der Kinematik hilft aber über eine ganze Reihe von Schwierigkeiten hinweg, die die alte allgemeine Mechanik nur auf sehr langem Wege überwinden konnte. Mit diesen Sätzen vertraut, wird der Anatom stets in erster Linie die Elemente eines Gelenkes nicht wie üblich einzeln, sondern als Elementen-„Paar“ betrachten. Bei den Aussenknöchlern insbesondere erweisen sich dann die Gliedverbindungen meist als kinematisch einfach, was allerdings etwas Anderes bedeutet, als was die bisherige Anschauung einfach nennt. Die Gelenke der Aussenknöchler sind ihrer Mehrzahl nach wirklich zwangläufig. Ihr Muskelspiel zeigt deshalb nicht entfernt den Kräftereichthum wie das der Wirbelthiere, daher die Vereinfachung. Auf der andern Seite bieten die Aussenknöchler dem Kinematiker von Fach eine Fülle von bisher nicht beachteten Anwendungen der Zwanglaufgesetze durch die Natur. Nach diesen zwei Seiten hin erscheint unter diesen Umständen ein, wenn auch nur kurzes Eingehen auf diese Thiergelenke hier empfehlenswerth.

§. 118

Die einfacheren Gelenke am schaligen Thierkörper

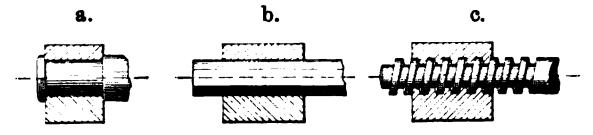
Die in ihren Bewegungen eindeutigen Gelenke am Thierkörper sind dieselben, die in der Maschine Verwendung finden, und das muss so sein, wenn es sich beidemal um dieselbe zu erzwingende Bewegung, und weil es sich um denselben Kreis von Mitteln handelt. Die Uebereinstimmung geht weiter, als man denken möchte; jedoch ist sie begrenzt und zwar deshalb, weil die Elementenpaare im Thierkörper niemals ganze gegenseitige Drehungen der beiden Partner, geschweige Vielfache von solchen

zu ermöglichen haben, da die Muskelansätze das ausschliessen. Wir haben ganz oben, §. 31, die drei niederen oder Umschlusspaare, die Fig. 627 nach S. 156 wieder darstellt:

Drehkörperpaar, Prismenpaar, Schraubenpaar,

zuerst zu nennen gehabt. In Bd. I habe ich sie streng a priori hergeleitet; sie sind nicht Findungs- oder Erfindungsstücke, sondern bestehen für sich auch ohne Anwenwendungen.

Fig. 627 Die drei niederen Elementenpaare



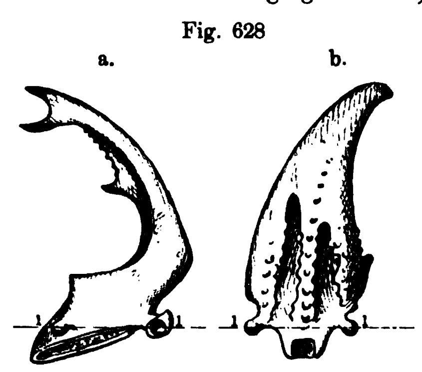
Von diesen drei Paaren kommt das niedere Drehkörperpaar $R^+_= R^-$, das ich wegen seiner in den Maschinen allermeist üblichen Form das Cylinderpaar genannt habe und mit $C^+_= C^-$, abgekürzt (C) bezeichne, sehr häufig in Thiergelenken vor. Die Anatomen nennen es Winkelgelenk, auch Cylindergelenk, auch Scharniergelenk*) und noch anders. Es ist aber hier nochmals nachdrücklich hervorzuheben, dass die Form des Drehkörpers aufs mannigfachste abgewandelt werden kann, ohne dass er seine Geeignetheit, als Element im Paar (C) zu dienen, einbüsst; immer muss nur gesorgt sein, dass Elementenschluss stattfindet, sowohl quer zur Achse, als längs derselben.

Zwei fest verbundene Kegel mit zusammenfallenden Achsen bilden kinematisch nur einen einzigen Drehkörper; sind die sie umschliessenden Hohlkegel oder Hohlkegeltheile in einem Gelenk fest unter einander verbunden, so bilden sie auch nur einen einzigen Hohlkörper und ergeben mit den Vollkegeln zusammen als Gelenk ein Cylinderpaar (C). Dasselbe gilt von entsprechenden Zweiheiten von Kugeln. Die Hörner des Hirschkäfers drehen sich an ihrer unten gelegenen Flanke mit einem kugeligen Zapfen in einem hohlkugeligen Lager am Kopfschild des Thieres, an der oberen Flanke umgekehrt mit einem hohl-

*) Wird etymologisch vom lat. cardo, cardinis = Thürangel hergeleitet, auch in Schelers Dict. d'Etymologie française. Das aus dem Französischen bezogene Fremdwort ist nicht schön, auch ist es entbehrlich.

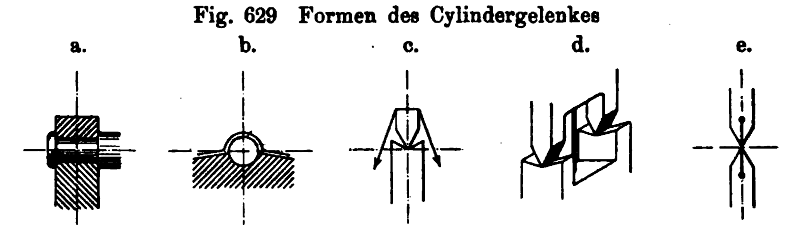
kugeligen Lager um einen vollkugeligen Zapfen. Fig. 628 zeigt es unter a. Die beiden Kügelchen 1, 1, eines hohl, eines voll, sind zwar jedes für sich kugelige Gebilde, aber kinematisch sind sie, weil fest verbunden und auch in fest verbundene Elementtheile eingebettet, zwei Theile eines Cylindergelenkes (C), nicht etwa Stücke von Kugelgelenken*), vermitteln auch nur Drehbewegungen um eine, durch die beiden Kugelmittelpunkte gehende Achse. Der Wechsel zwischen hohl und voll im selben Gelenk ist bei schaligen Thieren häufig; doch kommt auch die andere Form, Voll und Voll gegen Hohl und Voll, vor, so bei der unter b abgebildeten Kralle einer Krabbenscheere. In verwandter Weise kann ein Drehgelenkelement aus einer Kugel und einem Kegel, oder aus Kugel und Konoid bestehen, wovon unten ein Beispiel. In dieser Frage der Drehkörperformen werden, wie ich glaube, die Anatomen, um der Schärfe des kinematischen Ausdruckes willen sich von ihren bisher übllichen geometrischen Anschauungen am bemerkenswerthesten zu trennen haben. Denn gerade solche zusammengesetzte Drehgebilde kommen häufig vor; ihre Auffassung als eine Einheit bringt aber auch die grössten Vereinfachungen mit sich.

Fig. 628



Noch andere Abwandlungen des Cylindergelenkes sind zu erwähnen. Das starre Lager, Fig. 629 a, ist gelegentlich durch ein

Fig. 629 Formen des Cylindergelenkes



solches ersetzt, dessen ungefähre Hälfte durch eine, über den Zapfen gespannte, an ihm aber nicht haftende feste Haut ge-

*) Wie noch in Kolbes trefflicher „Einführung in die Kenntniss der Insekten“, Berlin 1899, angenommen wird.

bildet ist, s. Fig. b. In einer Reihe von andern Fällen ist der Halbmesser der einander deckenden Drehkörpermäntel bis nahezu auf unendliche Kleinheit herabgezogen, wobei alles andere Profil, als das der geraden Achse, wegfallen muss, d. h. Zapfen und Lager beide in je eine gerade Kante übergehen*). Es ist der erwähnte Fall der Schneide am Waagebalken (s. Bd. I S. 162). Diese liegt in einer „Hohlschneide" oder winkligen Rinne, s. Fig. c, wobei man sich zu denken hat, dass die Schneide leicht gerundet ist, sodass streng genommen ein Mantelstück eines ganz dünnen Kreiscylinders in desgl. eines sehr engen Hohlcylinders liegt. Man kann, wenn es im Maschinenbau verlangt wird, selbst solch eine Lagerung paarschlüssig herstellen dadurch, dass man hinter das erste Paar, gerechnet in der Achsenrichtung, ein zweites, nach der entgegengesetzten Seite offenes hinlegt. Im Thierkörper habe ich das bisher nicht gefunden; da sind andere Lösungen, die aber auch im Maschinenbau vorkommen, im Gebrauch. Die eine, sehr bekannte, dass das Schneidenpaar mit zwei Bändern und Muskeln, die seitlich angesetzt sind, s. Fig. c, durch Zugkräfte geschlossen wird, die zweite, s. Fig. d, dass die Schneiden der Achse nach in je zwei Stücke getheilt sind und ein Schliessband in der Mitte wirkt; das ist der Fall vom Heuschreckenbein, Fig. 626. Noch eine dritte Lösung ist die, s. Fig. e, dass beide Schneiden positiv, ausspringend, ausgeführt werden und das dünne schliessende Band durch die Achse geführt ist. Die letzten beiden Schliessungsarten kommen auch bei endlichem, aber kleinem Halbmesser der „Halbzapfengelenke" oftmals im Thierkörper vor. — Wir gehen nun zu Beispielen über.

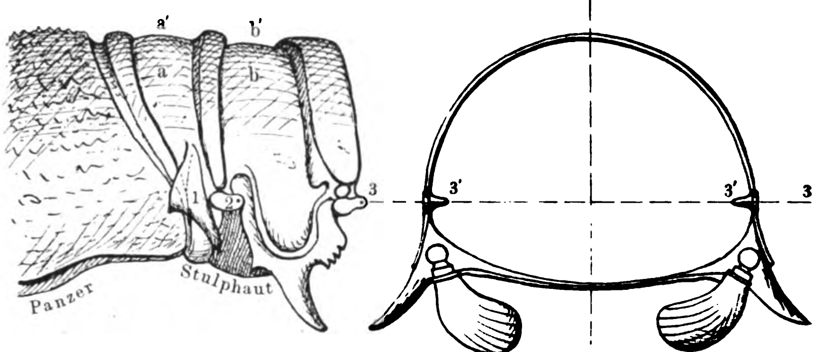
1. Beispielsreihe. Der Hummer, der ein sehr kinematisches Thier ist, hat an den ringförmigen knöchernen Gliedern seines Schwanzes mehrere hier anzuführende Gelenke. Die Ringe hängen mit klaren Cylinderpaarungen zusammen, s. Fig. 630 (a. f. S). Der Zapfen C+ des Paares besteht aus zwei konoidischen Körnspitzen, s. bei 3′ 3′, die nach innen weisen und die oben hervorgehobene Langachsigkeit ganz besonders deutlich zeigen. In ihren Lagern, die etwas weniger als halb herumfassen, sind die Körnspitzen durch die feste Haut von Fig. 629 b überspannt. Nach aussen setzt sich der, aus den zwei Körnspitzen gebildete Drehkörper noch fort, beiderseits in einer pilzförmigen Erweiterung, die als Halbzapfen in eine offene Lagerung am fol-

*) Hierin findet sich die theoretische Stütze für die Benennung der Drehkörperpaare als „Cylinderpaare", da sich alle, mögen sie ein Profil haben, welches sie wollen, auf solche unendlich dünne Cylindermäntel zurückführen lassen.

genden Ring eingebettet ist, s. bei 2 an Ring b; diese Fortsätze werden durch die erwähnten innen liegenden Hautdeckel fest im Schluss erhalten. Von den Körnspitzen 3′ 3′ usw. aus geht je ein Blatt der genannten Haut nach unten und oben lose den Ringwandungen nach und verbindet als beiderseits festgewachsener Stulp die aufeinander folgenden Ringe mit einander. Das Gleiche thut ein Hautblatt zwischen dem Anfangsringe a und dem Brustpanzer (auf dessen Angliederung an a wir noch zurückkommen müssen), sodass die ganze knöcherne Hülle trotz ihrem Gelenkspiel wasserdicht nach aussen abgeschlossen ist. Muskeln und Bänder sind an die Stulphaut nicht



Fig. 630 Gliederung des Langustenschwanzes



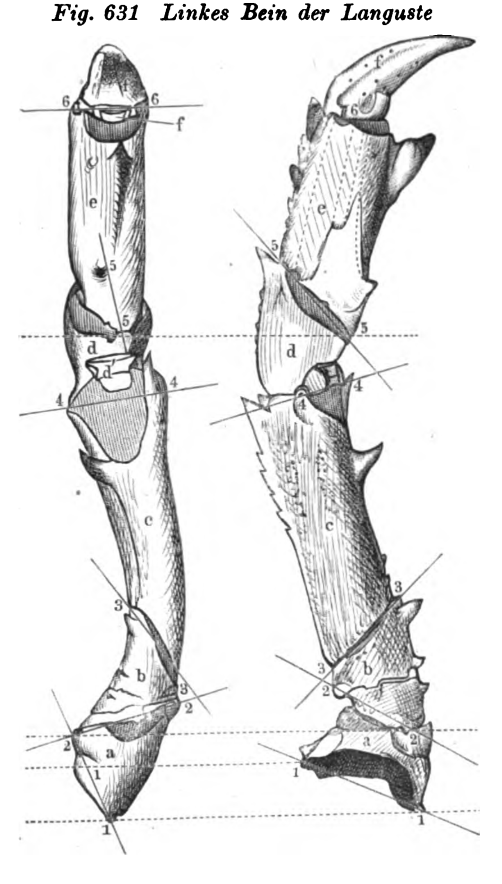
angesetzt; die kräftigen Schwimmbewegungen, die das Thier gelegentlich macht, werden durch den fleisch- und muskelreichen Hinterleib, der nur mit dem Ende des letzten (fünften) Ringes verwachsen ist, auf seine bewegliche Knochenhülle und die Schwanzflosse übertragen. Letztere ist durch Halbzapfen, die durch Bänder im Lager gehalten sind, an den Endring angelenkt. Die Gliedergelenke der Ringe, sowie auch das Gelenk zwischen a und dem Brustpanzer sind sämmtlich parallel. Deshalb ist die ganze Hinterleibhülle nur in der Tiefenebene („sagittal“) bewegbar.

Die Beine des Hummers haben jedes sechs Cylindergelenke, drei zum Beugen und drei zum seitlichen Neigen, drei Beuger und drei Neiger, möchte ich es kurz nennen, umzechig aufeinander folgend. Die Beuger haben, wie das Hirschkäferhorn, an einem Ende der Achse die Halbzapfenfläche nach aussen, am andern nach innen gerundet und sind durch Bänder im Schluss gehalten, wie Fig. 629 d andeutet. Die Neiger besitzen das Bandgelenk von Fig. e ziemlich derb ausgeführt.

Fig. 631 stellt in zwei Ansichten das linke Scheerenbein einer Languste (Palinurus) des sogen. scheerenlosen Hummers dar. Die Gelenke 2, 4, 6 sind die Beuger, 1, 3, 5 die Neiger. Das Thier hat sechs Beinpaare. Das erste, von aussen gezählt, ist verkümmert zu Mandibeln, indem es sowohl sehr schwach ist, als auch im Endgliede in Bürstenform ausläuft; meistens werden deshalb nur fünf Beinpaare gezählt. Ganz besonders kräftig ist das zweite Beinpaar, das der Scheerenbeine, entwickelt. Die Zangen, in die sie endigen — denn Scheeren sind es ja eigentlich nicht, ebensowenig

bei Hummer und Krebs — erscheinen gegenüber denen des gewöhnlichen Hummers verkümmert, könnten indess auch Vorstufen der Hummerscheere vorstellen, weil sie noch so vollständig in den Formen mit den übrigen Füssen stimmen und erst durch Entwicklung eines Dorns am vorletzten Gliede e scheeren- oder richtiger zangenähnlich werden).*

Fig. 631 Linkes Bein der Languste



Alle Gelenke des Beines sind nach Fig. 629 c mit zwei Bändern sowohl geschlossen, als durch daran angreifende Muskeln bewegbar gemacht. Sehr merkwürdig sind die Ansätze dieser Bänder. Die Winkel, die dieselben mit dem knöchernen Gliedkörper beim Muskelzug durchlaufen müssen, sind viel zu gross, als dass die blosse Anwachsung („Insertion") hier dauerhaft sein könnte. Die Bänder endigen aber in einen knöchernen Doppelzapfen, der bei d' am deutlichsten wird, ein richtiges zweizapfiges Querhaupt, das am Gliedkörper in C⁻ gelagert ist. Bei den Beugern sind die beiden, jedesmal nöthigen Querhäupter besonders kräftig und vollständig ausgebildet, bei den Neigern unvollständiger und schwächer, aber immerhin sind sie auch da vorhanden; bei den Gehbeinen sind sie erst im Keim zu erkennen, oder

*) Nicht unterlassen möchte ich den Hinweis auf den höchst eigenthümlichen Umstand, dass beim Hummer wie beim Flusskrebs das Glied *f* nicht wie hier an der Aussen-, sondern an der Innenseite des Beines sitzt. Der ihm gegenüberstehende Dorn ist bei Hummer und Krebs zum grösseren, keulenförmigen Scheerentheil ausgebildet; das bewegliche Glied *f* steht ihm entgegen wie unser Daumen der Hand. Dies ergibt eine Brauchbarkeit der Endglieder, die diejenige der Languste weit hinter sich lässt. Um sich davon eine Vorstellung zu verschaffen, braucht der Leser nur seine beiden Handteller zugleich nach oben zu kehren, und dann zu versuchen, etwas mit den Händen zu fassen. Der Hummer macht von seiner „Fassungsgabe" in der Gefangenschaft gern einen starken Gebrauch gegenüber seinen Leidens-

richtiger: etwas über denselben hinaus. Jedes Bein des Thieres zählt hiernach neben den 6 Hauptgelenken noch 6mal 2 Nebengelenke, im Ganzen 18 Stück. — Bei den Krabben sind die Bänderansätze ganz ähnlich gebildet wie hier beschrieben.

2. Beispielsreihe. Bei der bekannten Jakobsmuschel von gewöhnlicher Grösse ist die ganz geradlinige Schneide des Gelenkes — man nennt es ja bei den Zweischalern das Schloss — 50 bis 60 mm lang. Genau in der Mitte, vergl. Fig. 629 d, verbindet ein Track von dreieckigem Querschnitt

Fig. 632 Jakobsmuschel

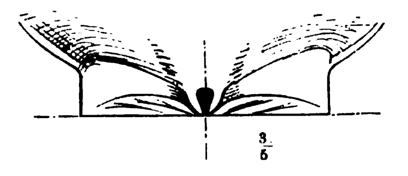
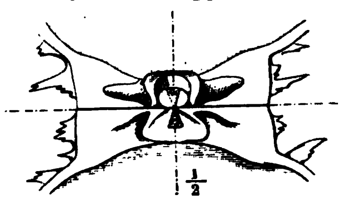


Fig. 633 Klappmuschel



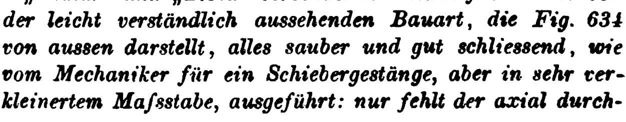
die beiden Kalkschalen, s. Fig. 632. Die Schneide ist am Deckel, ihre ganz seichte, rechtkantige Rinne am Untertheil angebracht; eine dünne Haut schliesst von innen den Spalt ab.

Bei der, mit starken Stacheln bewehrten Klappmuschel (Spondylus) trägt die eine der beiden, gleichgewölbten Schalen die Körnspitzen von Fig. 630, 12 bis 14 mm auseinander stehend, die andere das Lager dazu. Mitten zwischen den Lagertheilen tritt aus runder Aussparung das wiederum dreikantige Schliesstrack hervor, s. Fig. 633; das Ganze ist so regelmäfsig, wie vom Kunstschlosser gemacht).*

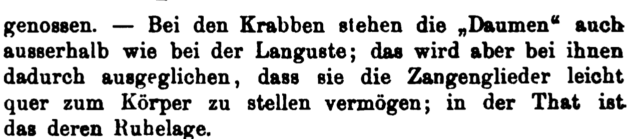
Auch bei den verschiedenen Arten der Herzmuschel (Cardium) sind die Eingriffe, die eine Verschiebung der Gelenkpaarung in der Achsenrichtung verhüten, in merkwürdiger Weise durch Körnspitzen und deren Lagerungen hergestellt.

3. Beispielsreihe. Wichtige Gelenkformen in kinematischer Hinsicht weisen die Käferbeine auf. An ihnen ist z. B. das, als Kniegelenk geltende, nämlich „Femur" und „Tibia" verbindende Gelenk fast immer von

Fig. 634



der leicht verständlich aussehenden Bauart, die Fig. 634 von aussen darstellt, alles sauber und gut schliessend, wie vom Mechaniker für ein Schiebergestänge, aber in sehr verkleinertem Mafsstabe, ausgeführt: nur fehlt der axial durch-

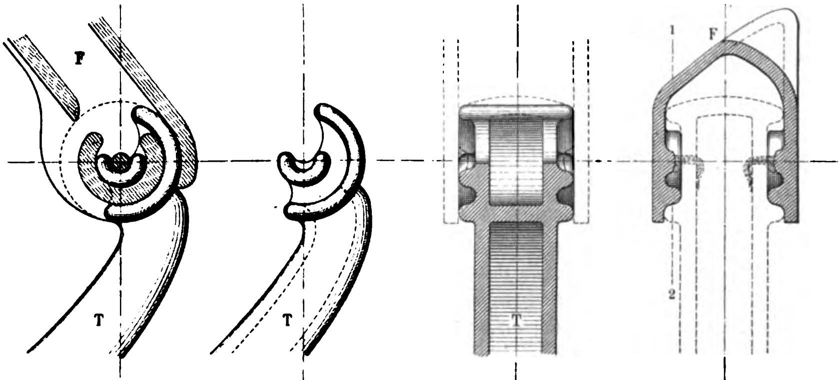


genossen. — Bei den Krabben stehen die „Daumen" auch ausserhalb wie bei der Languste; das wird aber bei ihnen dadurch ausgeglichen, dass sie die Zangenglieder leicht quer zum Körper zu stellen vermögen; in der That ist das deren Ruhelage.

*) Bedauerlich ist, dass unverletzte Musterstücke von Spondylus im Naturalienhandel nicht zu finden sind, da die Fischer, wohl um beim Herausnehmen des Thierkörpers die Stacheln der Kalkschale zu schonen, das Gelenk von aussen abfeilen.

gehende Bolzen). Man hat bisher, soviel ich gefunden, das Innere dieses Käferknies noch nicht untersucht; es ist überaus merkwürdig, wie Fig. 635 ersichtlich machen wird. An den beiden inneren Wänden des Oberschenkel-Endes steht je ein drehrund gestalteter Dreiviertels-Wulst und ein Mittelzapfen in Halbkugelform vor. Um den letzteren greift von jeder der beiden Aussenwände des Unterschenkels her ein, wiederum drehrunder Halbringwulst, und ebenso um den ersteren ein noch grösserer Halbringwulst herum, alles genau drehrund; der kleine Halbringwulst berührt sowohl den*

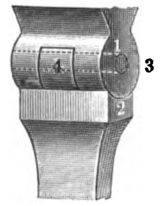

Fig. 635 Halbmondgelenk am Käferbein



Mittelzapfen, als den Dreiviertels-Wulst des Oberschenkel-Endes; alle vier, bezw. acht genannten Drehkörperflächen sind konaxial. Durch die Ringausschnitte treten Bänder, Muskeln und Nerven zu. Sehr bemerkenswerth ist eine Einrichtung am Mittelzapfen. Von ihm aus geht nämlich ein sehniger Strang um den Rand der Unterschenkelwand herum und ist an der

*) Kollmann bespricht in seiner sehr anziehend geschriebenen „Mechanik des menschlichen Körpers“, München 1874, das Bolzengelenk des Mechanikers, das er dem menschlichen Kniegelenk gegenüberstellt, wie folgt: „Die Technik kennt verschiedene Arten von Winkelgelenken. So scharfsinnig (?) ihr Bau und so exakt ihr Gang, sie stehen dennoch weit zurück hinter denen der Natur. Ein Vergleich zeigt sofort zwar die Aehnlichkeit im Bau und folglich auch der Verrichtung; aber die sichere und leichte Führung wird von keinem erreicht. Eine cylindrische Rolle, 3 Fig. 636, schleift hier wie dort auf einer seichten Pfanne 2, aber nachdem jene Naturkräfte nicht verwendbar sind, welche dort den Kontakt der Flächen erzwingen, greift ein hoher Zapfen 4 in einen Ausschnitt des Cylinders und die befestigende Achse vermittelt den Halt.“ Ich bemerke hierzu, dass der hier erwähnte Eingriff bei 2 in der Mehrzahl der technischen Fälle fehlt, dass nämlich die betreffende Stützung meist allein durch den Bolzen bewirkt wird.

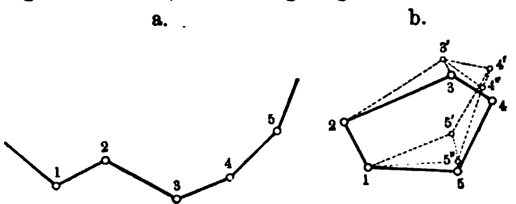

Fig. 636



Innenwand des Unterschenkelkopfes angewachsen; so ist's auf beiden Seiten. Dadurch sind die gepaarten Elemententheile fest zusammengehalten, da der Unterschenkelkopf ein sehr festes Gehäuse bildet. Man sieht, welche Anstrengung, um es so zu nennen, die erfinderische Natur machen musste, um den, ihr nicht zur Verfügung stehenden losen Bolzen des Technikers entbehren zu können. Nicht einfacher, sondern ungleich verwickelter, als das in der Anmerkung dargestellte Erzeugniss des Schlossers ist das Winkelgelenk des Käferknies. Der Bau desselben ist bei allen von mir untersuchten Käfern ungefähr der gleiche über die ganze Erde, kommt also viele Milliarden mal vor. Das Gelenk stellt aber nichts anderes vor, als ein, in seiner Winkelbeweglichkeit beschränktes, nämlich nur um etwa 90° höchstens drehbares Cylindergelenk (C). Das ist die Vereinfachung, die die Kinematik in die verwickelte Formung hier bringt. Alles ist an dem Gelenk so genau drehrund an den Berührungsflächen, dass die Bewegung ganz spielfrei und wegen der hohen Glätte der Theile auch ganz ohne sogen. Gelenkschmiere (synovia), die man deutsch etwas weniger derb auch „Gleitfeuchte", oder auch „Schlüpfe" nennen könnte, vor sich geht. Das eigenthümliche Drehkörpergelenk $R^{\pm}_{=} R^{-}$, das wir hier vor uns haben, könnte man wegen der Mondsichelform der Wulste Halbmondgelenk nennen. — Es sei bemerkt, dass bei Hummer und Krebs das Beugegelenk, mit dem die grosse Kralle an das vorausgehende Beinglied angesetzt ist, ebenfalls ein Halbmondgelenk von klarer Ausbildung darstellt; dasselbe hat zudem die, schon S. 730 erwähnte Eigenheit des Wechsels von Hohl und Voll an den beiden Gabelschenkeln des Krallengliedes.

Die sechs Beine des Käfers sind mit dem oberen Ende ihres Oberschenkels in die sogen. „Hüfte" (coxa) eingelenkt, wie, werden wir nachher noch sehen. Sehr häufig — wohl in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle — ist die „Hüfte" nicht, wie man vom Wirbelthier her schliessen könnte, ein blosses Lager, also

Fig. 637 Offene, und zwanglos geschlossene Kette



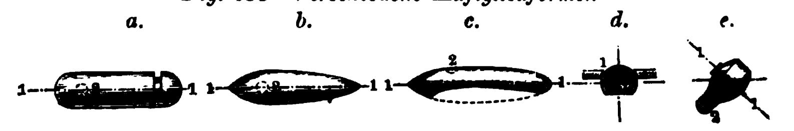
ein einzelnes, dem Brustkorb angewachsenes Element, sondern ein vollständig ausgebildetes „Glied" der kinematischen Kette, d. h. enthält zwei Elemente, das eine gepaart mit dem Schenkel F, das andere mit dem Lager am Käferkörper. Es sei bemerkt, dass die vorliegende Kette „ungeschlossen" oder „offen" ist wie die unter a der von S. 165 hier wiederholten Figur. Ich möchte nun das in Rede stehende zweielementige Glied das „Hüftglied"

nennen*). Unter Hüfte verstehen wir doch sonst beim Wirbelthier eine Stelle, ein kleines Körpergebiet, kinematisch gesprochen ein Elementenpaar, nicht aber ein ausgebildetes zweielementiges Glied einer kinematischen Kette wie die Glieder 1.2, 2.3, 3.4 usw. in Fig. 637; und ein solches liegt doch hier vor.

Das Hüftglied ist bei den Käfern verschiedentlich gestaltet; ausserordentlich häufig hat es eine walzenähnliche Form und ist dann seiner ganzen Länge nach mit drehrunden Flächentheilen über halb in die Chitindecke des Käferrumpfes eingebettet; es ist dann streng eindeutig bewegbar, nämlich bloss um seine geometrische Achse um einen gewissen Winkel drehbar.

4. Beispielsreihe. Bei Dorcus, der dem Hirschkäfer verwandt ist, haben alle drei Beinpaare cylindrische Hüftglieder, man könnte sie Hüftwalzen nennen; das hinterste Paar hat die in Fig. 638 a angedeutete Querkerbung, die gegen Längsverschiebung stützt; auch Prionus, ein stattlicher Bockkäfer, hat cylindrische Hüftglieder. Bei andern Bockkäfern ist die

Fig. 638 Verschiedene Hüftgliedformen



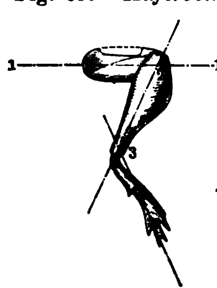
Einbettung des Hüftgliedes nicht so sicher paarschlüssig, nämlich kleiner als ½ des Umfanges, sodass der Schluss mit Bändern vervollständigt werden musste. Beim Hirschkäfer haben die vier vorderen Hüftglieder die Form von Weizenkörnern, Fig. 638 b, und sind sehr sicher paarschlüssig eingelagert; von Ateuchus und Skarabäus, den ägyptischen Pillenkäfern, gilt etwa dasselbe. Die Walzen haben auf der abgewandten, immer verdeckten Seite einen kleineren oder grösseren Ausschnitt in der Wand, durch den Bänder, Muskeln und Nerven zutreten, s. unter c. Manchmal ist das Hüftglied kugelig, wie unter d. Beim Sandläufer (Cicindela) hat das Hüftglied an den Vorderbeinen die Gestalt einer runden Dose, s. Fig. e, die auch ziemlich lose umfasst ist. Die Vorderbeine des Thierchens sind daher nicht besonders kräftig gestützt, daher es denn stets in weiten Sprüngen vor seinem Verfolger fortfliegt, nicht -läuft. Manchmal ist das drehrunde Hüftglied auch flaschenförmig gestaltet.

Auf seiner nach aussen gekehrten Seite ist das Hüftglied häufig abgeplattet, um dem, ihm angegliederten Oberschenkel Raum für seine Bewegungen zu lassen. Wir werden auf die merkwürdige Form der Abplattung weiter unten noch zurückkommen müssen. Wo sie aber ist, macht sie manchmal das Hüftglied für den Anblick schwer erkennbar, am todten Thier oft kaum entdeckbar. Manchmal ist das

*) Auch Graber ist unzufrieden mit dem Namen „Hüfte“ für coxa am Käferkörper.

Hüftglied auch wirklich verwachsen und zwar unter Beibehaltung seiner Abplattungsflächen. Das ist aber wichtig. Denn es deutet an, dass das Vorhandensein des Hüftgliedes die Regel und sein Fehlen die Abwandlung oder Entartung wäre. Sollte dies richtig sein, und es sei hiermit den Anatomen zur Entscheidung anheimgegeben, so würde das von mir so betitelte Hüftglied der Oberschenkel und das bis jetzt Femur oder Oberschenkel benannte Beinglied der Unterschenkel, die jetzige „Tibia" oder Schiene der Fuss sein, an den sich die sogen. Tarsenglieder, entsprechend den Fingern und Zehen, anschlössen. Die Zahl der Elementenpaare würde nicht geändert. Statt der rings beweglichen Hüftkugel des Wirbelthieres käme nur die eindeutige cylindergelenkige Lagerung eben desselben Oberschenkels in Betracht. Mit der Einwachsung des Oberschenkels ins Fleisch, wie beim Pferd, darf die Umdeutung nicht verglichen werden; es handelt sich vielmehr um die Rückverwandlung eines Kugelgelenkes in ein Cylindergelenk. Die Fig. 639, den Vorderfuss von Eupatorius (aus Celebes) darstellend, zeigt, wie verlockend die Hypothese aussieht. Diesem Käfer fehlen, nebenbei bemerkt, die Tarsenglieder, was auf ein Erdleben schliessen lässt. Die Achsen 1 und 2 des Beines stehen rechtwinklig, die 2 und 3 parallel zu einander. Die Abplattung des „Oberschenkels" ist in der Figur erkennbar gemacht. Das Gelenk bei 2 würde das Kniegelenk sein, das oben beschriebene „Halbmondgelenk" bei 3 der Ferse entsprechen.

Fig. 639 *Käferbein*



Was bei den besprochenen Bildungen am zerlegten Käfer besonders auffällt, ist die geometrische Genauigkeit der Drehkörperformen, die sich z. B. in den Hüftgliedlagern darin zeigt, dass deren Wandungen blinkende Spiegelglätte aufweisen*). Sie hat eine strenge gegenseitige Achsendrehung, die ohne Gleitfeuchte vor sich geht, zur Folge und erinnert an die Reibungskleinheit der Glas- und Edelsteinlager. Eine solche Genauigkeit der Umschliessung findet nach den neuesten Forschungen bei den

*) Wohl deshalb vergleicht Graber, der nicht deutlich die Paarung von Elementen als das Wesentliche erkannt hatte, und daher immer das einzelne Stück sah, das Hüftgliedlager einem Tabernakel.

Gelenken der Wirbelthiere nicht statt*). Die merkwürdige Formung mancher Gelenke bei den, doch wohl sehr früh entstandenen Krebsen und Käfern spricht trotzdem für die Ererbungstheorie. An immer wiederholte Neubildung oder Neuerfindung ist doch bei dem erstaunlich kunstvoll gebauten Käferfussgelenk Fig. 635 zu schwer zu glauben. Auf der andern Seite zeigt das Hüftglied in seiner Formenmannigfaltigkeit, dass auch bei den Krustern die Anpassung Formen schafft ähnlich wie bei den Wirbelthieren, wo die Zwischenlage (Synchondrose) schon an sich die Genauigkeit des Umschlusses der starren Gebilde beschränkt und die Gleitfeuchte oder Schlüpfe (synovia) Fehler gestattet. Das Anwachsen und allmähliche Eingehen des Hüftgliedes entspricht der Verwachsung (Ankylose) bei ungebrauchten Gelenken der Wirbelthiere. Aehnliches gilt von Kopf- und Brustschild der Käfer, die zwar manchmal gut beweglich, bei manchen Arten aber auch ineinander geschmolzen sind.

Eine „Schlüpfe" kommt übrigens auch am Käferkörper insofern vor, als am Uebergang vom Rumpf zum Brustschild eine Ausfütterung des dortigen kugeligen Gelenkes mit überaus feinen rothen Härchen das Gleiten erleichtert; auch beim Hirschkäfer ist an derselben Stelle eine Franse von solchen Härchen angebracht. Andrerseits ist wirkliche Gelenkschmiere bei der Heuschreckenfamilie an den Gelenken angewandt, die in einer Gleitfeuchte förmlich schwimmen.

§. 119

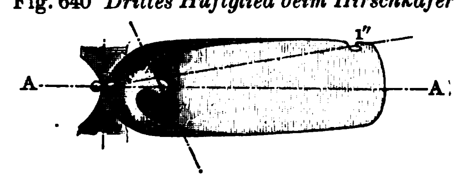
Das dritte Hüftglied des Käfers

Eine bemerkenswerthe allgemeine Beobachtung macht man beim Untersuchen des Käferbeinwerks am dritten Beinpaar; es ist die, dass dieses in der Regel anders angelenkt ist, als die beiden vorderen. Manchmal scheint zwar ein Unterschied kaum vorhanden, so z. B. beim Hirschkäfer, wo das dritte Hüftglied scheinbar wie die beiden ersten walzenförmig gebaut, nur stark

*) So sagt z. B. Tornier in seiner oben angeführten Schrift: „Das Henke'sche Gesetz der innigsten Berührung der Gelenkflächen existirt in der Natur überhaupt nicht; selbst scheinbar dafür sprechende Gelenke, so das menschliche Hüftgelenk, zeigen nach neueren genauen Untersuchungen einen weit komplizirteren Bau, als die älteren Autoren angenommen haben; andere menschliche Gelenke sprechen direkt dagegen . . .", wozu wohl zu bemerken wäre, dass das „in der Natur überhaupt" doch weiter geht, als die obigen Vergleiche zu gehen empfehlen.

abgeplattet ist*). Bei Zerlegung aber ergibt sich, dass erstens das Hüftglied an seinem inneren Ende von einem, aus der Mittelwand vorspringenden kugeligen Knöpfchen, s. Fig. 640 bei 1′, zweitens aussen an seinem Vorderrande von einem feinen Zäpfchen 1″ getragen wird. Somit hat das Hüftglied zwar Winkelgelenk, aber nicht ein solches, das zur Achse die Mittellinie *A A* des Gebildes hat, sondern ein solches, dessen Achse 1′ 1″ an seinem äusseren Ende im Vorderrande des Gliedlagers liegt. Die Folge ist, dass das Hüftglied, wenn es nun um seine Achse 1′ 1″ bewegt wird, wie eine Klappe wirkt. Diese Klappe lässt nun auch Luft in das Lager eintreten, sobald sie gehoben wird. Es wird wichtig sein, anatomisch zu untersuchen, was dieser merkwürdige Bau des Hüftgliedes für das Thier bedeutet. Hier sei nur so viel gesagt, dass z. B. beim Hirschkäfer die innere Lagerhöhlung zur vollen Hälfte mit Tracheenröhrchen, die der Rumpffläche ungefähr parallel liegen, besetzt ist.

Fig. 640 *Drittes Hüftglied beim Hirschkäfer*



*Aehnlich wie beim Hirschkäfer ist bei verschiedenen andern Käfern das dritte Hüftglied zur Klappe, die nach aussen aufschlägt, ausgebildet, so bei den Pillenrollern Skarabäus und Ateuchus**) sowie verschiedenen Böcken. Besonders deutlich erkennbar ist die Hüftklappe bei Goliathus giganteus, dem afrikanischen Käferriesen***). Hier sitzen die beiden, einem Cylindergelenk angehörigen Zapfen 1′ und 1″ ganz auf dem Vorderrand der, übrigens aussen völlig platt gebauten Klappe, s. Fig. 641, die Grundriss und zwei Schnitte wiedergibt. Es wäre erwünscht, am frischen Thier, also drüben in Afrika, den Boden des Klappenlagers auf den weiteren Verlauf im Käferleib untersucht zu sehen. Auch bei Eupatorius und Chalkosoma, beide schon recht grosse Käfer, sind die dritten Hüftglieder klappenartig gebaut. Durchgehend scheint die Besonderheit vorzuliegen, dass die Hüftklappe durch elastische Bänder auffallend stark in die Schlusslage gezogen wird, was die Eigenthümlichkeit der „Klappe“ als solcher nur bestätigt.*

---

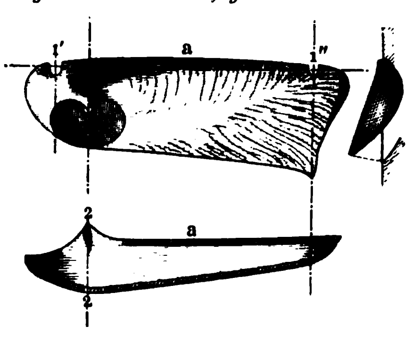
*) Ueber die Abplattung s. den folgenden §.

**) Die naturgeschichtliche Sage, dass bei Skarabäus und Ateuchus die Hinterbeine ganz weit auseinander ständen, damit das Thier die Pille gut rückwärts rollen könne, ist grundlos; das dritte Beinpaar steht bei den Pillenrollern ganz so wie bei den andern Käfern, wie z. B. beim Hirschkäfer.

***) Die Untersuchung ermöglichte mir aufs zuvorkommendste die Direktion des Kgl. Museums für Naturkunde durch Ueberlassung verschiedener Musterstücke.

Wichtig für die Untersuchung versprach der brasilianische Käferriese Dynastes zu werden, was denn auch eintrat). Die Hüftklappe ist bei ihm sehr deutlich ausgebildet, hat wieder am Vorderrand die Drehzapfen 1' und 1'', hat dabei einen kleinen Hub (25 bis 30°) und ist straff durch Sehnen oder Bänder niedergehalten. Besonders merkwürdig wird aber Dynastes noch dadurch, dass auch an seinem zweiten Beinpaar das Hüftglied klappenartig, wenn auch weniger entschieden, gebaut ist. Das zweite Hüftglied ist zwar kurz, steht auch schräge (30° gegen die Querachse des Thiers), hat aber wie jenes dritte Hüftglied des Hirschkäfers, an seinem Aussen-Ende den Drehzapfen am Vorderrand, zeigt auch keine Politur auf der Unterfläche, weil es eben nicht mit dieser im Lager gleitet. Ist nun diese, hier so besonders stark auftretende Neigung zur Klappenbildung das ältere, oder gilt dies von der Neigung zur Walzenbildung? Eine entwicklungsforscherische Frage, die wohl erst nach zahlreichen weiteren Vergleichen beantwortet werden kann.*

Fig. 641 Drittes Hüftglied bei Goliathus



Zu bemerken ist aber noch, dass bei Dynastes das mittlere Hüftglied, trotz seiner Klappenform, einen sehr grossen Dreh- oder Schwingungswinkel hat, dagegen das erste, vorderste Hüftglied bei Walzenform nur einen recht kleinen, nur etwa 10°. Folge dieses ungewöhnlichen Umstandes ist, dass bei Dynastes von dem, bei Graber so gut geschilderten Vorschreiten mit je drei Füssen, in der Schrittweise

1	*1'*
2	*2'*
3	*3'*

1, 2', 3 und dann 1', 2, 3' usw. nicht die Rede sein kann, weil 1 und 3 so sehr viel weniger Längsbewegung der Fusskrallen haben können, als 2. Die mittleren Beine vermögen, wenn vereinigt arbeitend, mit ihrem weiten Ausschlag den Käferleib vorzuschieben; das vordere Paar dagegen vermag wegen seines so kleinen Hüftdrehwinkels wesentlich nur durch Umklammerung zu wirken. Aus diesen Voraussetzungen geht denn nicht der soeben geschilderte Graber'sche Passgang, sondern eine Kletterbewegung als die dem Thier natürlichste hervor. Bei dieser umklammert es wohl mit den Vorderbeinen, sagen wir einen Zweig, und greift darauf mit den Mittelbeinen 2 und 2' gleichzeitig vor, worauf es die Umklammerung löst, ganz wie der Mensch klettert; die Hinterbeine dienen wohl nur zum Steuern. Auf der ebenen Fläche muss Dynastes schlecht vorwärst kommen; Nachrichten darüber fehlen auch bei Brehm.

---

*) Die Direktion des naturhistorischen Museums in Hamburg hatte die grosse Güte, mir für die Untersuchung ein vorzügliches Musterstück von dem seltenen Dynastes Hercules zu überlassen.

Bemerkt sei noch, dass auch andere Bauarten des dritten Hüftgliedes noch vorkommen, so bei dem, durch sein Leuchten berühmten brasilianischen Cocujo, der der grösste bekannte Springkäfer (Elater) ist (s. unten). Bei ihm zeigt sich das Hüftglied mit dem Rumpf verwachsen und so gestaltet, dass der angelenkte Schenkel an ihm unterschlägt wie unter ein Dach, s. Fig. 642. Bei Dytiscus, dem Wasserkäfer, ist das dritte Hüftglied ganz verschwunden, d. h. völlig als Ringstück mit dem Rumpf verwachsen, was die Beweglichkeit des dritten Beinpaares sehr einschränkt.

Fig. 642 Verwachsung des Hüftgliedes



§. 120

Andere Gelenke am Thierkörper

Zu den Umschlusspaaren (s. S. 155) gehört auch das, in Fig. 620 wieder abgebildete Schraubenpaar $S^{+}_{-} S^{-}$, abgekürzt geschrieben (S), gebildet aus „Schraubenspindel“ und der sie deckenden „Schraubenmutter“ von unveränderlicher Steigung*). Schon Ludwig Fick erwähnt die Schraube als Gelenkform am Wirbelthierskelett, wobei ihm aber, ebenso wie andern ausgezeichneten Forschern, im Wege stehen bleibt, dass er nicht sofort das „Paar“ von Elementen sieht. Denn ohne ihren Partner, die Schraubenmutter, kann die Schraube als Gelenk nur unvollständig verstanden werden. Daher haben auch die oftmals zu findenden Hinweise auf das Schneckenhaus als natürliches Vorbild für die Schraubenerfindung nicht den vermutheten Werth**). Im Käferkörper hat aber die Natur wirkliche, paarschlüssige und sehr genau gebildete Schraubengelenke verwirklicht. Ich eile, hinzuzufügen, dass auch diese nicht der Schraubenerfindung als Vorbild gedient haben, sondern wegen ihrer Kleinheit und Un-

---

*) S. Bd. I S. 91 und Konstrukteur IV. Aufl. S. 196.

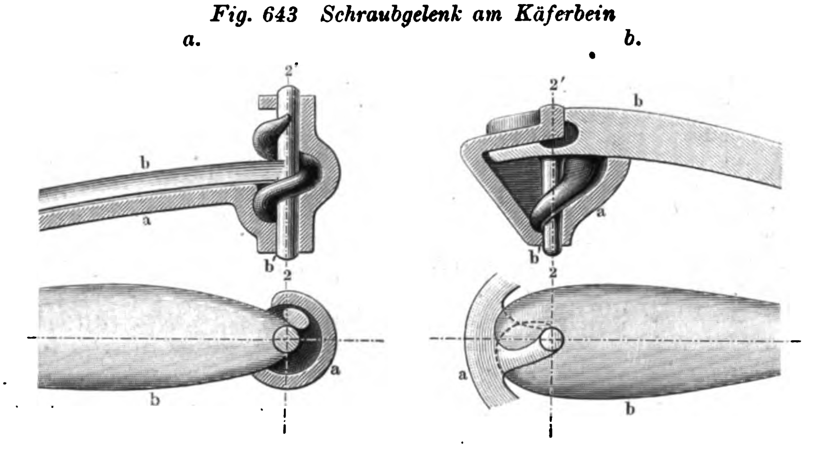
**) Wennschon es den Alten (s. S. 199 Helix) die Namen für Schraube (cochlea aus kochlias) aber auch für Löffel (kochliarion) lieferte. Die Schraube am Schneckenhaus bildet sich ungepaart wegen des, an der einen Zellenwand stärkeren Wachsthums, hat veränderliche Steigung und vermittelt vor allem keinen Zwanglauf. Die Namensentleihung ist auch überhaupt nicht bestimmend, sie gibt nur Formeindrücke wieder. Hat doch die weiche Weinrebe (vitis) den Franzosen und Italiänern das Wort für Schraube geliefert (*vis*, *vite*), und der aufgewickelte Faden den Engländern und den Franzosen das für Schraubengang (*thread*, *filet*), ja uns doch ebenfalls das Wort Gewinde. Eine Theorie der Schraubenerfindung gebe ich Bd. I S. 219.

scheinbarkeit bis jetzt, wie es scheint, gänzlich unbemerkt geblieben waren*).

Beispiele. Es ist das Gelenk zwischen Femur und dem Hüftglied, wo das Schraubenpaar bei ausserordentlich vielen Käfern vorkommt. Ich muss hier dem Anatomen, der ja ganz andere Vorstellungskreise in der Uebung hat, eine sehr starke geometrische Zumuthung machen; dem Kinematiker wird die Sache weit weniger Mühe machen.

Zunächst sei in Fig. 643 a das fragliche Schraubenpaar schematisch dargestellt, dabei b der Schenkel, der sich gegen das Stück a in Winkeln bewegen soll. Er dreht sich um die Achse 2′ 2 und gleitet gleichzeitig an

Fig. 643 Schraubgelenk am Käferbein



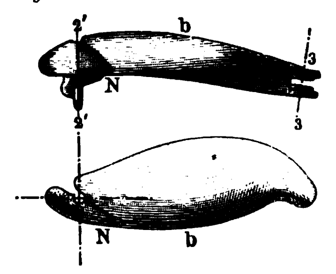
ihr entlang, da er mit a schraubig gepaart ist. Unten hat b bei b′ einen cylindrischen Zapfen (vergl. S. 679, Fig. 597); darauf folgt ein Wulst, der in Schraubenwindung, und zwar rechtsgängig, aufsteigt. Man erkennt hier in b′ die „Schraubenspindel" $S+$, in a′ unten die „Schraubenmutter" $S-$. Etwas weiter hinauf ist aber das Gewinde an b in ein Mutter- oder Hohlgewinde $S-$ übergegangen, s. Fig. b, das an a dagegen in das zugehörige Spindelgewinde $S+$; beide sind von derselben Steigung wie die Schraubenwindung unten. Die von mir ganz unabhängig hiervon (1878) nachgewiesene Eigenschaft der Schraubenpaarung, dass Mutter und Spindel nicht theoretisch unterschieden seien, hat die Natur hier vor ungemessenen Zeiten an den, in ungeheuren Zahlen geschaffenen Kerbthieren angewandt; jedes der beiden Stücke a und b ist „Schraubenspindel" und „Schraubenmutter" zugleich; unten ist die Paarung $S- S+$, oben ist sie $S+ S-$. Um vom Schema zur Wirklichkeit überzuführen, stellt Fig. 644 (a. f. S.) den Schenkel des dritten Beines von Goliathus dar, zugehörig zu dem, als Klappe gestalteten Hüftglied, s. §. 119, das Fig. 641 bereits vorführte. Bei 2′ in Fig. 641 erkennt man das, wirklich in der Chitinwand angebrachte Loch, durch welches der

---

*) Die Ermittlung am Hirschkäfer machte ich 1888, ohne eine Veröffentlichung daran zu schliessen.

Zapfen 2' von a hindurchtritt und beim Hin- und Herdrehen auf- und niedertaucht. Was die Genauigkeit der Paarung angeht, so bemerke ich, dass unten bei 2' etwas weniger scharf gearbeitet ist, weshalb da auch Schlüpfhärchen zwischengesetzt sind. Oben dagegen ist das Gewinde an beiden Elementen so glatt und genau, auch so hoch polirt, dass kein Spielraum entdeckbar ist, auch beim längst getrockneten Thierchen keinerlei Schlüpfe erforderlich ist, um dennoch das Gelenk spielend leicht gehen zu lassen. Ganz ähnlich ist alles bei Dynastes.

Fig. 644 Schenkel von Goliathus



Weiter von der Achse 2' 2 ab macht sich die Schraubenpaarung auch noch bemerklich, und zwar an den schon erwähnten Stellen, wo Schenkel und Hüftglied ihrer Länge nach aneinander streifen. Die gewöhnlichen Streifflächen oder Abplattungen des Hüftgliedes sind in der That, namentlich am dritten Beinpaar, recht ausgedehnte wirkliche Ausschnitte aus Schraubenflächen; oft sind sie beide durch Politur (vergl. Fig. 639), häufig aber auch durch feinen Härchenbesatz des einen Theiles glattläufig gemacht; letzteres gilt z. B. von der breiten Oberfläche der Hüftklappe unter a Fig. 641, auch bei Dynastes.

Nach der Steigungsrichtung der Gelenkschraube ist noch zu fragen. Zunächst sind die Gelenkschrauben eines Beinpaares, wie zu erwarten war, entgegengesetzt gewunden, die eine rechts-, die andere linksgängig. Von Paar zu Paar kommen aber noch Verschiedenheiten vor. Zwar haben z. B. Goliathus und Dynastes an allen drei Beinpaaren am linken Bein Rechtsgewinde, am rechten Linksgewinde; aber beim Hirschkäfer hat das erste oder vordere Paar linkerseits Linksgewinde, an den beiden andern Paaren linkerseits Rechtsgewinde. So schwankt es auch bei andern Käfergattungen und -Arten.

Die Steigungsgrösse in den besprochenen Schraubengelenken ist keineswegs gering. Bei Goliathus beträgt sie nahe 3 mm, wovon, da nur Viertelsdrehung möglich ist, nahe $^3/_4$ mm als Auf- und Niederbewegung zur Geltung kommen; beim Hirschkäfer von vollem Wachsthum messe ich die Steigung zu etwas über 1,5 mm.

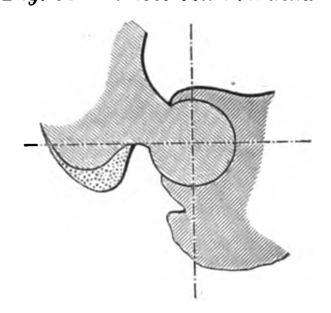
Hinzuweisen ist noch auf eine Besonderheit. Es ist die, dass zwar Schenkel gegen Hüftglied sich hebt und senkt, wenn das begrenzte Spiel der beiden Glieder (meist nahezu 90°) stattfindet, dass aber die „Schraube" nicht aus der „Mutter" herausgedreht werden kann, auch wenn die seitwärts eintretenden Muskelpaare abgerissen sind). Dieses Herausdrehen hindert*

*) Das Hin- und Herdrehen ist beim lebenden Thierchen leicht. Beim todten Thier, das auch schon lange in der Käfersammlung ausgetrocknet sein mag, kann man, namentlich wenn man es durch Anfeuchten erweicht hat, durch vorsichtiges Rütteln an den Gliedern es dahin bringen, dass die Gelenkbänder abreissen, worauf dann die Hin- und Herschwenkung alsbald möglich ist.

schon der Uebergang von positivem zu negativem Gewinde, wie in Fig. 643 b dargestellt ist. Dies bedeutet auch umgekehrt, dass man das schraubig auslaufende Ende des Schenkels nicht von aussen in das Hohlgelenk einsetzen und eindrehen kann. Das bringt, nebenbei bemerkt, für den Untersucher mit sich, dass er jedesmal einen der beiden Partner opfern, zum wenigsten stark ausschneiden muss, um den andern unverletzt herausheben zu können. Der Mutter Natur macht die Sache beim Einbau aber auch Schwierigkeiten. Sie sieht sich genöthigt, auf früher Wachsthumsstufe des Thierchens das Schenkel-Ende in zwei getrennten Stücken in das Hüftglied einzusetzen, zwei Stücke, die dann später aneinanderwachsen. Die Nath dieser Verwachsung ist bei allen von mir untersuchten Käfern deutlich auf der Schenkelfläche sichtbar. Oben in Fig. 644 ist sie mit N bezeichnet. Man wird diese Nathgegend den „Trochanter" zu nennen haben, da sie sehr genau den Rollhügeln am Oberschenkel des Wirbelthiers entspricht). Der Trochanter zeigt sich auch bei solchen Hüftgliedgelenken, die nicht als Schrauben-, sondern als Cylinderpaare ausgeführt sind, so bei vielen Böcken, auch beim Cocujo usw.; auch sie sind ungemein fest gebaut.*

*Ein Schraubengelenk besitzt auch die zweischalige Riesenmuschel Tridacna an ihrem „Schloss". Die eine der Schalen trägt die Schraubenmutter, die andere die Schraubenspindel an sich. Erstere ist mit einem langen Spalt seitlich geöffnet, um einen seitlichen Längsansatz der Spindel durchtreten zu lassen, s. Fig. 645**). Das Gewinde ist sehr steil, d. h. hat eine sehr grosse Steigung. Das Geschöpf ruht in seichtem (Meer-)Wasser auf dem Schloss und öffnet sein Haus namentlich bei Ebbe, um seine Nahrung eintreiben zu lassen. Trotz der Kleinheit des Winkels, angeblich vielleicht 20°, um den die Schalen dann klaffen, ist die Längsbewegung, die die Gelenkschraube bedingt, doch sehr merklich, weshalb die mächtigen Querfalten, mit denen die Schalen ineinander greifen, schräge zum Rande stehen.*

Fig. 645 Schloss von Tridacna



Das Kugelgelenk $G\pm\ G-$, abgekürzt (G), so bekannt von der Wirbelthierhüfte her, ist nicht eindeutig in seiner Bewegung, sondern gestattet Drehung um drei einander kreuzende Achsen. Mit ihm sind Brustschild und Rumpf der Käfer sehr oft aneinander gelenkt; schmale Kugelzonen greifen gegenseitig ein, ausreichend für das geringe erforderliche Spiel der beiden Stücke.

---

*) Man findet häufig das ganze Hüftgelenk Trochanter benannt, was aber zu den genauen Darstellungen der Anatomen von den beiden, ganz ausserhalb des Hüftgelenks liegenden Rollhügeln nicht stimmt.

**) Eben wegen dieser Eingriffsart wird das Schloss von den Fischern, die das zentnerschwere Thier holen und dessen Haus gewaltsam öffnen, in der Regel gebrochen.

Aeusserst zahlreich sind die Kugelgelenke an den sog. Tarsengliedern der Käferfüsse und -Fühlhörner. Zu fünf folgen diese kleinen Glieder aufeinander an jedem Fuss, zu weit mehr an den meisten Fühlern. Jedes hängt im vorausgehenden mit einem kleinen Kügelchen, s. Fig. 646, von etwas über seinen Aequator beiderseits hinausgehender Fassungsfläche. Die positive Kugel G^+ sieht aus wie ein Becherlein, in das der, durch die ganze Reihe gehende, kräftige Muskelstrang eintritt. Der Hohltheil G^- des Paares umfasst es hier zangenartig. Die Gliederung hat, mit Ausnahme des ersten Gliedes, nur sehr wenig Spiel und ist schwach und gebrechlich. Beim Heuschreck ist dieses erste Fussgelenk ein Cylindergelenk.

Fig. 646 Tarsenglieder

Dem Kugelgelenk verwandt, aber nicht drei-, sondern nur zweideutig, ist das von mir nachgewiesene und benannte Globoidgelenk, bestehend aus zwei Stücken von „geraden" Globoidringen nach Fig. 532 e. Jeder der Partner kann sich um den umschlossenen und allein berührten Kreis des andern drehen. Dies ergibt Bewegbarkeit um zwei, rechtwinklig geschränkte Achsen, s. Fig. 647 *). Die Punkte jedes Partners beschreiben um den

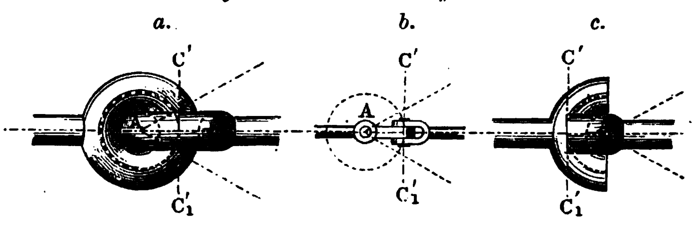


Fig. 647 Das Globoidgelenk

andern Wege, die wiederum auf einem (grösseren) Globoidringe liegen. An Käfern und Krustern habe ich das Gelenk noch nicht gefunden; wohl aber gehören die Gelenke der ersten „Phalangen" unsrer Finger dieser Gelenkgattung an **); beim Daumen ist dies besonders wichtig. Ihre Benennung als Sattelgelenke ist bekannt, aber sagt etwas zu wenig. Die Sattelgelenke gehören, wenn sie globoidisch sind, zu den höheren Gelenken, sind aber noch sog. „Schleifgelenke", nicht „Rollgelenke" ***).

Ein wirkliches Rollgelenk kommt an dem, auf S. 732 dargestellten Hummerschwanz vor, da wo dieser an den Brustpanzer angelenkt ist. Der erste Ring a nämlich rollt bei 1 auf einem, zwar seitlich gekrümmten, aber von einer Ebene begrenzten Schienenpaar mit einer cylindrisch profilirten Rollfläche. Das Stück a beschreibt deshalb gegen den Brustpanzer mit allen seinen Punkten Orthocykloiden (vergl. S. 20). Die Schiene demnach, und

*) Vergl. Konstrukteur IV. Aufl. S. 572.

**) Wenn auch mit der kleinen Ungenauigkeit, die nach Torniers Untersuchungen am Wirbelthierkörper sich durchweg vorfinden.

***) S. Tornier a. a. O. S. 240.

mit ihr der ganze Panzer, beschreibt gegen den Ring a Kreisevolventen oder Cykloorthoiden (vergl. S. 21). Soll deshalb die Krümmung a' von dem Panzerrand immer gleich weit abstehen, oder vielmehr ihm immer gleich nahe sein, so muss das Profil bei a' eine Kreisevolvente sein). Die Profilkurven b', c' usw. an den folgenden Ringen sind einfacher. Sie müssen, um den, wegen der Stulphaut nöthigen Schluss jederzeit zu erhalten, Kreise um die Achsen 2, 3 usw. sein**). Zu der Paarung bei 1 ist noch zu bemerken, dass sehnige Verbindungen um 1 herum die rollende Berührung zwischen Panzer und ersten Ring unverändert erhalten.*

§. 121

Getriebliche Leitung am Thierkörper

Wir haben uns bis hierher mit blossen Elementenpaaren am Thierkörper befasst; es sei nun zu Mechanismen übergegangen. Die vier Verwendungsweisen der Mechanismen, die wir S. 254 unterschieden und dann weiterhin bis ins Einzelne verfolgt haben, die „Leitung", die „Haltung", die „Treibung" und die „Gestaltung", können auch am Thierkörper nachgewiesen werden und zu Unterscheidungen dienen. Sie kommen indessen hier nicht so gleichmäſsig vertheilt vor wie in der künstlichen Maschinenschöpfung. Auch besteht in manchen Fällen der Unterschied, dass die starren Elemente des Thierkörpers weniger widerstandsfähig sind, als die der Maschine. Annähernd bleibt aber dann das Hauptverhältniss doch bestehen. Auf die „Leitung", d. i. Führung in bestimmten Bahnen und Lagen, sei zunächst noch etwas eingegangen.

1. Beispiel. Manche Fische besitzen am Maul eine kinematische Vorrichtung, vermöge deren sie eine Art Fangschlauch vorstülpen können. Dieser Schlauch besteht aber, um überhaupt vorgeschoben werden zu können, aus aneinander gegliederten (starren) Knochenstäben oder -Platten und einer darüber gezogenen weichen Haut, einem Track. Folgende Skizze stellt eines solchen, bei Madera häufigen Fisches unter a bei eingezogenem, unter b bei ausgestrecktem Fangschlauch dar. Die Herausstreckung geschieht, wenn der Unterkiefer des Thieres herabgezogen wird, mittelst zweier, verbundener Ketten aus der Reihe der Kurbeltriebe (vergl. §. 56). Um es zu verdeut-

---

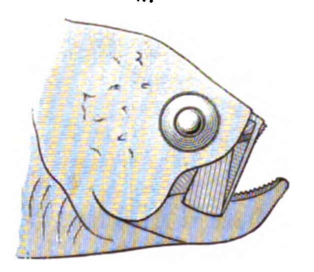
*) Ist die Schiene nicht geradflächig, sondern cylindrisch gebogen, so bleibt grundsätzlich alles wie angegeben, nur wird die Kurve bei a' dann eine (grosse) Epicykloide, vergl. S. 13 und 36 ff.

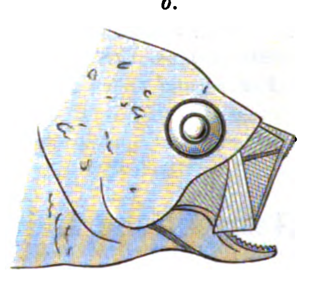
**) An einem von mir zubereiteten und beweglich erhaltenen Langusten-Skelett ist das alles deutlich zu sehen.

lichen, ist in Fig. 649 der Mechanismus unter Weglassung des Hautüberzuges schematisch herausgehoben. Der Unterkiefer d dreht unmittelbar mittelst des Triebes $(C''_4)\frac{c}{d}$ *die dreieckige Platte 1 . 4 . 3'', die man Visirplatte nennen*

Fig. 648 Fischmaul mit Fangschlauch

a. *b.*





könnte, um die Achse 4 nach aussen. *Diese dann führt mittelst des Triebes* $(C''_3 P^+)\frac{d'}{a'}$ *das harkenförmige Knochengebilde 3'' 4' nach vorne. Gelenk 4 und 1' fallen zusammen, auch bilden die Aufstellungsglieder 3 . 4 und 1' 4' ein einziges Stück. Der Stab 4' ist prismatisch; er bewegt sich in einer geraden Knochenscheide über das als der Nase zu vergleichende Schädelstück hin etwa wie an antiken Helmen (Aeginetengruppe) und auch an heutigen persischen Prachthelmen der Nasenschirm. Dieser Nasenschirm muss geradgeführt werden, um ihn spannungslos in der Scheide auf dem Nasenrücken bewegen zu können. Zu dem Ende ist der Schirm, dessen vorderer Bogen 3'' 3' wie ein Thorbogen den Fangschlauch fest*

Fig. 649

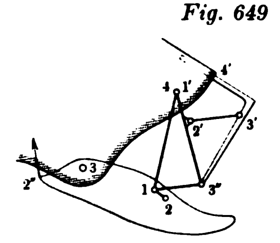


Fig. 650 Lippenfisch





abschliesst, bei 3' mit einem kurzen Bändchen noch einmal angeheftet. Die ganze Vorrichtung ergibt sich in Bezug auf die verwirklichte Leitung als eine Geradführung, wie wir deren in §. 44 eine ganze Reihe behandelt haben.

Ich bemerke, dass das Glied 1 . 2 oder a des ersten Kurbelgetriebes ein Bändchen, also ein Track ist, somit keinen Druck übertragen kann, weshalb

dann beim Heben des Unterkiefers zuerst umschlägt und dann erst die Visirplatte 1.4.3′ durch Zug zurückführt. Die Gelenke 3″ und 4 = 1′ sind Halbcylindergelenke mit Bandschluss (s. oben), die Paarung bei 4′ ist dagegen ein ordentliches Prismenpaar aus Knochen. — Die Muskeln, die den Unterkiefer heben und senken, sind schwach, ein Zeichen, dass der Kiefer nicht zum Schnappen dient, sondern nur zum Vorstrecken des Schlauches.

2. Beispiel. Ein anderer kleiner Fisch, ebenfalls vor Madera nicht selten, besitzt einen noch weit stärker ausstreckbaren Mundschlauch; er heisst deshalb Lippenfisch. Fig. 650 stellt ihn in den zwei in Frage kommenden Ansichten dar. Länge von Schnauze bis Spitze der Schwanzflosse 120, Höhe ohne Bauch- und Rückenflosse 64, grösste Dicke 18 mm. Sein Nasenschirm wird ganze 22 mm vorgeschoben, und zwar ganz geradlinig; der Mechanismus dafür besteht aus drei Kurbelketten.

Unsre Karpfen haben einen, den besprochenen Mechanismen ähnlichen, obwohl weit weniger vorbringbaren Mundbesatz, der bei den im Glase gehaltenen Goldfischen gut beobachtet werden kann.

3. Beispiel. Noch zahlreiche andere Knochenmechanismen fallen unter die „Leitung“. Erwähnt seien die Krallenführungen der Katzensippe. Die scharf bewaffneten Endglieder der Zehen derselben sind für gewöhnlich nicht „eingezogen“, wie der Volksmund sagt, sondern, dem anatomischen Sprachgebrauch nach „gestreckt“, nämlich rückwärts aufgerichtet, wie Fig. 651

Fig. 651 Kralle beim Katzengeschlecht



unter a zeigt; die elastische Sehne s zieht beim Ruhezustand des Fusses alle drei Glieder in die Strecklage, das Endglied c übermäfsig, sodass es so steht, wie wir mit Kraftanstrengung unsre Fusszehen aufrichten können. Will aber das Thier, Hauskatze, Löwe, Tiger, Panther usw. die Krallen gebrauchen, so beugt es mittelst der starken Sehne t das Endglied c mit grosser Kraft unter bandschlüssiger Cylinderdrehung desselben bei 3, s. Fig. b). Dem Zweck nach verwandt, aber umgekehrt wirkend ist der von Thilo beschriebene Mechanismus, der den Giftschlangen zur Aufrichtung und Zurücklegung der Giftzähne dient**). Er ist ein Kurbelgetriebe. Die Gifthaken werden durch ihn „gebeugt“, wirklich eingezogen, wenn sie nicht gebraucht*

---

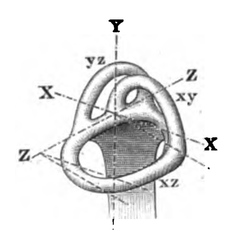
*) Genaueres in V. Grabers „Werkzeugen der Wirbelthiere“ S. 153, woher auch die Abbildung.

**) S. Biologisches Centralblatt 1899, August, S. 509, wo der Zahnsteller der Kreuzotter dargestellt und eingehend behandelt ist.

werden, aber aufgerichtet, nämlich rechtwinklig gegen den Oberkiefer gestellt, wenn sie eingeschlagen werden sollen.

4. Beispiel. Als eine merkwürdige Anwendung des Leitungszwanges, der aber unter Kraftschluss wirkt, hat man, wie mir scheint, das räthselvolle sog. Labyrinth im Gehörmechanismus der Wirbelthiere anzusehen, wenigstens zum grösseren Theil. Es besteht, wie Fig. 652 schematisch andeutet, aus drei halbringförmigen, im Verkehr stehenden Röhren. Diese sind in die feste Knochenmasse in drei Koordinatenebenen so eingebettet, dass y z und x y rechtwinklig, x z und y z etwas schiefwinklig zu einander stehen. Sie enthalten eine Flüssigkeit. Sicher erwiesen scheint durch genaue Versuche an Thieren, dass das Labyrinth als Neigungsmesser dient, nämlich dem Gehirn meldet, ob der Kopf seitlich oder vor- und rückwärts geneigt wird. Man kann sich das so vorstellen, dass die beiden aufrechten Bogen z y und x y als Wasserwaagen die Höhenstände in den Schenkeln vermittelst Nerventhätigkeit messen; sackförmige Erweiterungen unten an den Bögen scheinen darauf hinzudeuten. Dass etwas Aehnliches vor sich geht, kann der Erwachende an sich beobachten, wenn er sich sehr schnell aufrichtet, wobei nämlich ein Schwindelgefühl auf einige Sekunden eintritt, gleichsam andeutend, dass die Fludspiegel in den Labyrinthbögen x y und z y nicht so schnell folgen können. Ob überhaupt, und in welcher Weise aber der liegende Bogen des Labyrinthes die Wendungen des Kopfes um die senkrechte Achse ohne andere Hülfe meldet, ist zunächst nicht erkennbar.

Fig. 652 Labyrinth



§. 122

Getriebliche Haltung im Thierkörper

Wie im Gebiet der industriellen Maschine, so kommt auch im Thierkörper die Haltung, d. i. Einrichtung zum Aufsammeln und geeigneten Verwenden von Arbeitsvermögen, nicht nur vielfach, sondern sehr häufig, ja fast ausnahmslos vor und jedem Thier zu, nämlich in dessen Ernährungsvorrichtung. Das thierische Leben geht unter Arbeitsverbrauch, der theils unter wechselnder Stärke nach aussen wirkt, theils am eignen Körper regelmäfsig abfliesst, vor sich; die Ernährung dagegen findet meist unstetig statt. Zu einem bedeutenden Theil werden die zugeführten Nährstoffe auf Arbeitsvermögen umgewandelt, zum andern Theile ausgeschieden; das Umgewandelte aber wird in Haltung genommen. Aus dieser wird es in Form von Arbeit abgegeben, und zwar einestheils zum Lebensunterhalt, andterntheils zu Wirkungen nach aussen. Nach

einiger Zeit ist durch Beides die Haltung mehr oder weniger „erschöpft“ — die Sprache drückt also das Entleeren der Haltung schon aus — worauf ihr durch Ernährung wieder Inhalt zugeführt werden muss. In vereinzelten Fällen wird durch längere Zeitabschnitte der Lebensunterhalt durch ganz kleinen Abfluss aus der Haltung bestritten, wie beim Winterschlaf einer beschränkten Anzahl von Thieren. Die Physiologie untersucht in streng wissenschaftlicher Form den Vorgang sowohl der Füllung, als der, ob schnell, ob langsam vor sich gehenden Entleerung der Haltung.

Noch andere als die angedeuteten Haltungen kommen im Thierkörper vor, nämlich solche, deren Ablauf ein vom Thier benutztes Erzeugniss liefert. Beispiele finden wir bei den spinnenden Geschöpfen, den eigentlichen Spinnen und den Schmetterlingsraupen. Sie erzeugen auf chemischem Wege in ihrem Körper aus Nahrungsstoffen den Spinnstoff in beträchtlicher Menge, bewahren ihn eine Zeitlang in sich auf und bringen ihn dann durch geschickte „Gestaltung“ — die vierte der Getriebsbestimmungen — in die Form von Fäden, die sie darauf mit ihren, bewunderungswürdig als Werkzeuge ausgebildeten Gliedmafsen weiter behandeln (vergl. S. 764). Einige Seethiere bilden und sammeln in einer Haltung in ihrem Leib eine dunkelfarbige Flüssigkeit, die sie, wenn verfolgt, ausspritzen, um sich vor ihren Verfolgern zu verbergen. Andere Thiere „halten“ und verwenden auf ähnliche Weise Gift. Die Waben der Bienen und ähnliche Dinge bleiben hier ausser Betracht, da sie ausserhalb des Thierkörpers durch den Kunstfleiss der Geschöpfe hergestellt werden, auch kein getrieblich verwerthbares Arbeitsvermögen bergen.

§. 123

Kinematische Treibung im Thierkörper

Die sechs Formen der Treibmechanismen, die (vergl. §. 54 ff.) die Maschinen zusammensetzen,

Schraubentrieb,	Kurbeltrieb,	Rädertrieb,
Rollentrieb,	Kurventrieb,	Sperrtrieb,

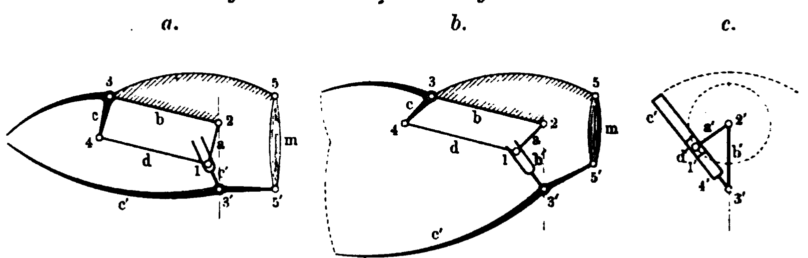
sind in der Thierwelt weit ungleichmäfsiger verbreitet, als im technischen Maschinengebiet. Dies ist auch zu erwarten. Eines-

theils weil die Zwecke der natürlichen Maschinen vorwiegend nur in der Erhaltung dieser selbst bestehen, anderntheils und hauptsächlich aber, weil die Bewegungsform der „Fortdrehung“ bei den natürlichen Elementenverbindungen ausgeschlossen ist (s. S. 728). Alles Treiben innerhalb des Thierkörpers läuft deshalb auf Hin- und Herbewegung hinaus. Wir fanden zwar das so künstliche Schraubenpaar in den natürlichen Maschinen sehr viel benutzt (s. S. 742), keinmal aber den, aus mindestens drei Gliedern bestehenden, in geschlossener Kette wirkenden Schraubentrieb, dessen Anwendungen im Maschinenwesen wir oben (§. 55 ff.) als so ausgedehnt und wichtig erkannten. Sein Vorhandensein im Thierkörper ist auch gar nicht wahrscheinlich; die besprochenen Schraubenpaare am Käferkörper dienen überdies nicht zum Fortschieben, sondern bloss zur Sicherung von Winkeldrehungen, die selten 90° überschreiten.

Auch der Rädertrieb, als in erster Linie Fortdrehung bezweckend, ist im Thierkörper nicht verwendbar. Anders steht es mit dem Kurbeltrieb, wie wir schon oben bei der Leitung (§. 121) fanden; er ist für Hin- und Herbewegungen häufig im Thierkörper benutzt.

1. Beispiel. Ein sehr beachtenswerthes Treibungs-Beispiel liefert der, nach Grabers Beschreibung) in Fig. 653 schematisch dargestellte Vogelschnabel, der die bekannte Eigenthümlichkeit besitzt, dass Ober- und Unterkiefer*

Fig. 653 Getriebe des Vogelschnabels



sich zugleich gegen den Schädel bewegen. In Fig. a ist der Schnabel geschlossen, in Fig. b geöffnet gedacht. Der deutlich erkenbare Kurbeltrieb $(C_4'')\frac{b}{\overline{a}}$ *hebt den Oberkiefer, sobald der Unterkiefer durch den Muskel m. der bei 5' den Fortsatz des Unterkiefers fasst, nach unten bewegt wird. Der Unterkiefer trägt an sich das Getriebe 2 . 3' 1, welches eine „rotirende Kurbel-*

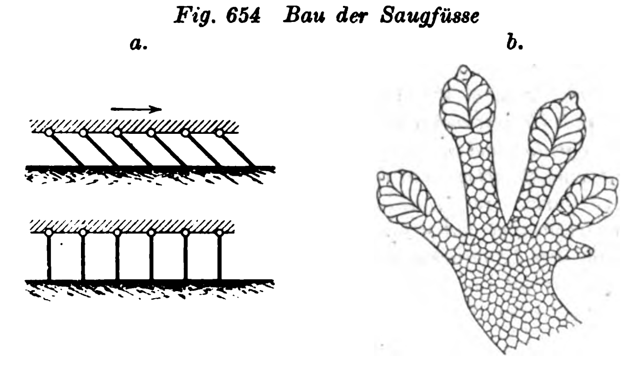
*) Werkzeuge der Wirbelthiere I S. 70 ff. Ich habe die Stelle bei 1 nur, obwohl übertreibend, noch etwas genauer dem wirklichen Skelettbau entsprechend gezeichnet, als Graber that.

schleife“ $C_3'' P\perp)\frac{b}{c}$ mit weggemindertem Glied d ist, s. Fig. c). Elastische Bänder bewirken Schliessung des Schnabels, wenn der Muskelzug aufhört. Das Glied a oder a' heisst anatomisch das Quadratbein, d das Jochbein, c das Nasenbein. Im Ganzen besteht der Mechanismus aus drei doppelt angebrachten Ketten, die stets zusammenwirken. — Zahlreiche andere Anwendungen der (C_4'')-Kette kommen als Mechanismen zur Flügelbewegung der Insekten vor.*

2. Beispiel. Einer besonders merkwürdigen Benutzung des Kurbeltriebes sei hier noch gedacht; es ist die in den Saug- und Haftfüssen mancher Thiere, u. a. des Geckos, jener bekannten Eidechse der Mittelmeerküsten. Die fünfzehigen Füsse des, an den Zimmerwänden und -Decken sicher laufenden Thierchens berühren die Lauffläche mittelst paralleler dünner Hautblättchen, schematisch dargestellt unter a, Fig. 654, die die

Fig. 654 Bau der Saugfüsse

a. *b.*



*Ballen der Zehen bilden. Nach ihrer Ansetzung in schräger Lage werden sie durch Muskelzug mehr aufgerichtet**), vergrössern dadurch die zwischen ihnen gebildeten Kammern und erzeugen demzufolge darin eine beträchtliche Luftverdünnung, die die Füſschen, s. unter b, haften macht. Die Hautblätter bilden mit der Sohle, an der sie mit Bandgelenk haften, Parallelkurbeln ($C_2'' \; C_2''$), vergl. S. 308 ff., deren viertes Glied jedesmal die Lauffläche abgibt. An letztere schliessen die Blätter mit feinen Härchen an. Tornier hat neuerdings in erfreulicher Ergänzung des bereits Bekannten gezeigt, dass die Geckonen auch am Ende des Schwanzes noch eine ziemlich grosse Haftplatte haben, ausgerüstet wie die der Füsse, mit der sie sich namentlich beim Abwärtsklettern halten***). Bei dem merkwürdigen Schildfisch oder Schiffshalter, Echineis remora (jüngst nach Brehm beschrieben im Prometheus 1899, Jg. XI S. 42) hat der auf Kopf und Nacken befestigte ovale Saugschild 12 bis 27 Paare, je nach der Art der Gattung der erwähnten*

*) Vergl. S. 423 und in Band I S. 333.

**) S. Graber „Werkzeuge usw.“ I S. 187.

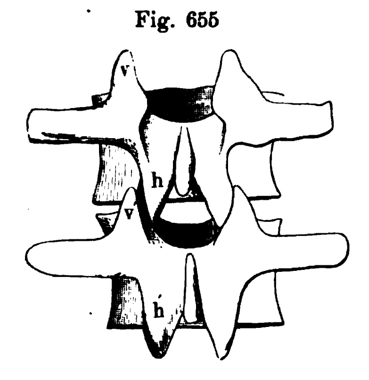
***) S. Gustav Tornier, Ein Eidechsenschwanz mit Saugscheibe, Biol. Zentralblatt Bd. XIX, 15. Aug. 1899, welcher Abhandlung auch die Zeichnung unter b entlehnt ist.

Kammern; er richtet die Hautblätter auf, indem er sich rückwärts bewegt, und haftet dann sehr fest. Die in der Torresstrasse vorkommende Art des Schildfisches wird 90 cm lang, Schild 25 cm. — Eine der besprochenen nur entfernt verwandte Bauart weisen die Vorderfussballen des Wasserkäfers, Dytiscus, auf. Jeder der beiden Füsse ist mit zwei flachen Saugnäpfchen ausgerüstet, mittelst deren sich das Thierchen mit Hülfe der die Näpfchen umgebenden klebrigen Fasern auffallend fest anheften kann.

Rollentriebe kommen in verschiedenen Formen im Thierkörper vor. Die Anatomen bezeichnen mit dem Namen Rolle oftmals ein Element aus einem Paar von Drehkörpern, die mit ihren Flächen aufeinander gleiten oder schleifen (vergl. S. 735 Anmerkung), überhaupt auch Gelenk-Elemente. Diese nun meine ich hier nicht, sondern solche Triebe, in denen ein Zugelement oder Track auf ein starres Element durch Ab- oder Aufwicklung Kraft überträgt.

Beispiel. Solche Wicklungsgetriebe (s. Fig. 107 a S. 156) zeigen Vorderarm und Unterschenkel beim Menschen an der sog. Speiche (radius), die nahezu parallel neben der Elle (ulna) herläuft und an den vorausgehenden Schenkelknochen mittelst Kugelgelenkes angeschlossen ist. Die Speiche wird durch zwei breite Muskelbänder, die in steilem Schraubengang auf sie gewickelt und mit einem Ende ihr angewachsen sind, vor- oder rückwärts um ihre Längsachse gedreht, was denn eine entsprechende Drehung von Fuss oder Hand zur Folge hat. Der eine Wickelmuskel heisst der Einwärtsroller (Pronator), der andere der Auswärtsroller (Supinator). Auch an den Beinen der Vierfüssler und Vögel findet sich dieser Rollentrieb. Bei der menschlichen Hand beträgt die durch den Rollentrieb erzielte Drehung 180°, bei dem Unterschenkel und bei Thieren nur etwa halb so viel).*

Fig. 655



Kurventriebe finden in mäfsiger Zahl der Ausführungsformen ebenfalls Anwendungen im Thierkörper. In der Wirbelsäule wirken die vorderen Gelenkfortsätze v, v', Fig. 655, und die hintern Gelenkfortsätze h, h' als Kurventriebtheile aufeinander und bedingen so die Querbeweglichkeit der Säule. Beim Löwen sind diese Fortsätze im Schweif das Mittel zu bedeutenden Kraftäusserungen. Bei den Fischen dienen sie zur Fortbewegung des Thiers vermittelst der Schwanzflosse.

*) Vergleiche Grabers „Werkzeuge usw." I S. 143 ff.

§. 124

Sperrtriebe im Thierkörper

Gesperre sind in Thierkörpern in grosser Zahl zu finden, und zwar sowohl solche, die bloss aus starren Elementen gebildet sind, als namentlich solche für und mit Fludbewegung.

a) Sperrtriebe aus starren Elementen

1. Beispielsreihe. Der Käferkörper ist wiederum ergiebig auch an Gesperren. Zunächst hat das Thier Bedarf an solchen zum Schutz seines Körpers gegen die Angriffe der Vögel. Die harten Flügeldecken bilden ihm einen Panzer. An diesem finden sich zunächst zwei Gesperre. Das erste besteht darin, dass die zusammengelegten Flügeldecken oder Oberflügel nicht,

Fig. 656 Sperrung der Flügeldecken

a. b. c.

1 3 2

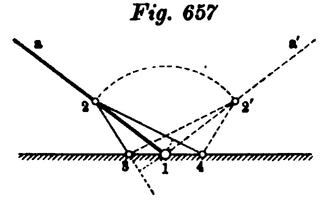
wie man aus dem äussern Ansehen schliessen möchte, gleichseitig oder symmetrisch geformt sind, sondern dass sie mit einem Falz ineinander greifen), manchmal einfach wie zwei Fensterflügel rheinischer Bauart, manchmal auch zweifach, s. Fig. 656 unter a. Die geschlossenen Flügeldecken von oben gesehen, zeigt Fig. b. Wir erkennen die „allgemeine“ Bauart des ruhenden Gesperres aus Fig. 510; die Flügeldecken sind die Glieder a und b, der Körper das Glied c. Die Gelenke bei 1 und 3, um die sich die Flügeldecken beim Ausschwung drehen, sind bandschlüssige, und zwar etwas lockere Cylindergelenke. Die Sperrung durch den Falz 2 ist von bemerkenswerther Sicherheit. Das abgelöste Oberflügelpaar eines zerlegten Goliathus — Fig. b stellt gerade ein solches dar — kann man, wenn die Falze ineinander geschoben sind, bei einem Flügel anfassend, frei halten. Auch beim Hirschkäfer gelingt das nach einiger Uebung.*

*) Was auch schon Graber gefunden hat.

Ein zweites Gesperre für die Oberflügel bildet mit ihnen das sog. Schildchen (scutellum), das Fig. c darstellt, ebenfalls von Goliathus. Unter die Ränder desselben greifen nämlich die Decken unmittelbar vor Erreichung der Schlusslage ein. In Fig. b erkennt man unten in der Winkelspitze die zwei Läppchen, mit denen dies geschieht, in andern Fällen ist es eine keilförmige Zuschärfung, die untergreift. Das Schildchen, das weiter nach vorne kräftig befestigt ist, steht mit seinem zugespitzten Feld freitragend über der überdeckten Fläche, die meist glänzend polirt ist; dies scheint auf eine federnde Wirkung des Schildchens hinzuweisen. In aller Strenge ist der Schildchen-Eingriff ein Stück des Gelenkes 1 oder 3, das den schliesslichen genauen Griff der, wie gesagt, etwas nachgiebigen Anlenkungen sichert. So bildet denn das Schildchen eine Art von Schloss für die Flügeldecken, die nunmehr vom Vogel nicht mehr aufgehoben werden können.

Wird das Schildchen nicht gebraucht, so verliert es, entsprechend der bekannten Beobachtung über Nichtbenutzung, gewisse Einzeltheile, verkümmert, verschrumpft, ja geht vollständig ein wie bei vielen Laufkäfern und andern Seltenfliegern; diese Verlustabstufungen ändern die äussere Form des Schildchens mannigfach ab.

Fig. 657



Ein drittes Gesperre hält die Flügeldecken ausgespannt, ohne dass eine Muskelanstrengung dazu erforderlich ist, wenn der Käfer fliegt. Hier ist ein kraftschlüssiges Bandgesperre benutzt, das unter den Beispielen in §. 87 und 88 nicht vorkam. In der schematischen Figur 657 ist 1.a die Flügeldecke und sind 2.3 und 2.4 elastische Bänder. Bei der Lage 1.3.2.4 ist der Hebelarm der Anspannung 2.3 so viel grösser, als derjenige der Anspannung 2.4, dass die Flügeldecke in der Lage 1.a erhalten wird. Das Umgekehrte gilt bei der Lage 1.a'.

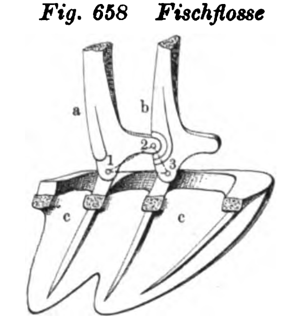
Mannigfache Veranlassung zu Gesperrverwendung hat der Fischkörper gegeben da, wo Flossen und Stacheln zeitweise aufzurichten und in der gehobenen Stellung widerstandsfähig zu erhalten sind. Letzteres kann, wenn Muskelanstrengung vermieden werden soll (s. unten), nur durch Gesperre geschehen. Dr. Thilo in Riga hat eine ganze Reihe von knochigen Gesperren am Fischkörper nachgewiesen und näher untersucht*). Mehrere der, von diesem eifrigen Forscher behandelten Fischkörper-Mechanismen sind

*) S. Dr. O. Thilo, Die Sperrgelenke an den Stacheln einiger Welse usw., Dorpat 1879; ferner: Die Umbildungen an den Gliedmafsen der Fische, Morphol. Jahrbuch 1896, und: Die Sperrvorrichtungen im Thierreiche, Biolog. Zentralblatt Bd. XIX, 1. Aug. 1899; weiterhin: Die Entstehung der Luftsäcke bei den Kugelfischen (worin mehrere Gesperre als vorhanden und wichtig erwiesen sind); ferner: Das Ankern der Fische, Correspondenzblatt der naturf. Ges. zu Riga 1899; endlich: Ergänzungen zu den „Sperrvorrichtungen“, Biolog. Zentralblatt 1900.

Zahngesperre (§. 87), andere sind Reibungsgesperre (§. 88), wieder andere sind Kurbel- und Kurventriebe in Todtlagen, vergl. S. 408 und S. 525.

2. Beispielsreihe. Fig. 658 stellt nach Thilo zwei Stacheln des schönen und seltenen Fisches dar, der den Namen Heringskönig (Regalecus) führt. Die zur Rückenflosse gehörigen Stacheln a und b sind bei 1 und 3 mit Cylindergelenk am Rückgrat c gelagert; bei 2 liegt die Sperrverzahnung. Wird vermittelst der Verbindungshaut der Stacheln die Sperrklinke b zurückgezogen, so löst sich die Sperrung bei 2, und dann wird auch a niedergezogen. Umgekehrt geht alles beim Aufrichten von Stachel zu Stachel vor sich, worauf denn die ganze Flosse, die als Kiel dient, fest aufgerichtet steht. So bei manchen andern Fischen. — Beim Einhornfisch (Monacanthus) dient ein Reibungsgesperre zum Aufrechterhalten seines starken, über der Nase aufrichtbaren Stachels. — Beim nestbauenden Stichling (Gaterosteus acubatus), der seine weit auseinanderstehenden Stacheln als Wehr und Waffen sehr schnell aufrichten und niederlegen kann, hat Thilo zuerst die Gesperrbenutzung nachgewiesen.

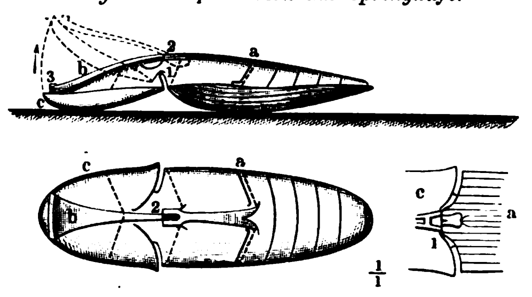
Fig. 658 Fischflosse



3. Beispielsreihe. Ein sehr merkwürdiges Gesperre weist der Körper des Springkäfers (Elater) auf. Es dient dieser Käfergattung, deren grösster Vertreter der schon erwähnte Leuchtkäfer (Cocujo) ist, zu einem Spannwerk



Fig. 659 Spannwerk am Springkäfer



(s. S. 577), mittelst dessen er seinen Körper aus der unbequemen Rückenlage emporschnellt. Brustschild (Prosternum) und Rumpf (Mesosternum) sind, s. Fig. 659, durch ein Cylinderpaar aneinandergelenkt. Um die Achse des letztern dreht oder streckt der machtlos auf dem Rücken liegende Käfer seinen Vorderleib (das Prosternum) weit zurück. Dieses trägt auf der Unterseite eine sehr kräftig gebaute, am Mundrande entspringende Sperrklinke b, welche nun der Käfer bei 2 gegen einen Sperrzahn am vorderen Brustringe setzt. Der Sperrzahn bildet den Vorderrand einer ziemlich tiefen, ganz glattwandigen Grube, die die Zahnlücke vorstellt und, wie die Figur zeigt,

mit ausgebildeten Seitenrändern zum Führen der Klinke versehen ist. Der Käfer spannt nun kräftig die Beugemuskeln am Brustschild und löst darauf die Klinke, die bei 3 eine kleine Beweglichkeit im Blattgelenk hat, bei 2 aus. Sofort schnellt dann sein Vorderkörper in die Höhe, wie die Punktirung andeutet. Das hat aber zur Folge, dass nun der Hinterleib kräftig auf den Boden schlägt, sodass nun das Thier in die Höhe schnellt und im günstigen Falle auf die Beine kommt; (letztere sind hier nur schematisch punktirt). Im ungünstigen Falle wiederholt es das Spannen und Auslösen, bis es seinen Zweck erreicht. Gezeichnet ist in unsrer Figur der Cocujo, dessen Bau bemerkenswerth ist durch das seitliche Klaffen der Ränder von Brustschild und Rumpf. Dennoch ist das schmale Gelenk beim Zurückstrecken gesichert, und zwar dadurch, dass das, recht sonderbar zweiblättrig gespaltene Schildchen, s. Nebenfigur, von einer Λ-förmig gestalteten Gabel des Brustschildes umfasst wird. — Bei unsren heimischen Springern, die weit kleiner sind, klaffen die erwähnten Ränder nicht, fehlt auch die Λ-Gabel. Unsrem häufigen, nur 7 mm langen Dolopius marginatus fehlt die Brustgrube, er kann deshalb den Vorderkörper weniger weit vorschleudern; der schöne Lacon murinus aber besitzt die Grube).*

4. Beispielsreihe. Als Sperrer für Flüssigkeit dienen am Fischkörper die Kiemendeckel. Sie sind flache Klappen aus ziemlich starrem Stoff, die mit Bandgelenk mit dem Lager verbunden sind. Klappen aus ganz starrem Stoff haben wir oben (S. 739) am Käferleib als Hüftglieder gefunden, wo ihre Eigenschaft als Sperrer bisher, wie es scheint, nicht beachtet worden war. Sie sperren entweder, oder gestatten den Zutritt von Luft in ihr Lager; ihre genauere Bestimmung wird noch zu ermitteln sein.

b) Sperrtriebe aus bildsamen Elementen

Die Fludgesperre oder Ventile in Gefässen des Thierkörpers gehören wesentlich wie die vorigen der Klasse der laufenden Gesperre an, obwohl ruhende Gesperre, die am kranken Körper verhängnissvoll sein können, auch am gesunden Körper nicht ausgeschlossen sein mögen. Die Einschnürungsabschlüsse oder Sphinkter sind gewöhnlich kraftschlüssige Gesperre (vergl. §. 32), indem sie bei ihren Muskelanstrengungen dem Fluddruck entgegenzuwirken haben; in der Einschnürung der Fischblase scheinen

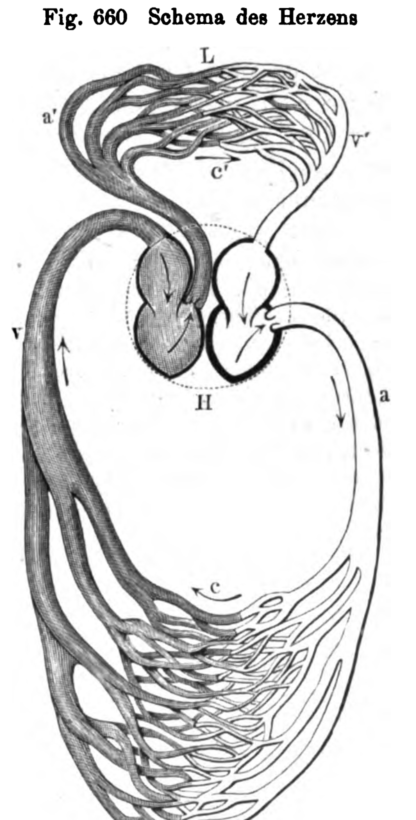
---

*) Das Spannwerk des Springkäfers verdient zweifellos Beachtung. Um es gut besichtigbar zu machen, möchte es sich für grössere Sammlungen empfehlen, Stücke mit der Unterseite nach oben aufzuspiessen. Schön wäre es, wenn überhaupt in Käfersammlungen regelmäſsig Unten mit Oben so wechselte. Auch für die Zurschaubringung der Hüftglieder, die sich als so merkmalsreich zeigten, wäre das Verfahren werthvoll. Die Krone würden die Sammler ihren Leistungen aufsetzen, wenn sie von seltenen und grossen Arten ein Stück mit ausgespannten Flügeln zubereiten wollten. Angeführt sei, dass Goliathus 23 bis 24 cm spannt.

indessen nach Versuchen von Thilo elastische Bänder den Sphinkter zu einem selbstthätigen Sperrer zu gestalten.

Die durchaus vorwiegende Ventilform im Innern des Thierkörpers ist die häutige, mit Bandgelenk angehängte, also ganz aus Zugelement oder Track bestehende Klappe. Die allerwichtigsten Beispiele liefert das Herz der Wirbelthiere; in ihm sind zwei Ventilformen, die der „Segelklappe“ und die der „Halbmondklappe“ vertreten.

Fig. 660 Schema des Herzens



Das Herz, das nebst seinem Röhrennetz*) in Fig. 660 rein schematisch **) gezeichnet ist, besteht, kinematisch betrachtet, aus zwei zusammenwirkenden Fludschaltwerken (s. S. 599) oder Pumpen, die einander Flud zutreiben, stellt also ein Zwillingspumpwerk mit Kreisverlauf dar. Seine beiden Kammern, die man sich auch auseinander gerückt, aber gleichzeitig betrieben denken kann, werden durch Muskeln ohne Zuthun des Willens in regelmäfsigen Zeitabschnitten zusammengezogen („Systole“) und wieder erschlaffen gelassen („Diastole“). Bei der Zusammenziehung wird das Blut aus den Kammern in das Adernetz hinausgetrieben, bei der Erschlaffung wird dasselbe aus dem Netz angesaugt. Die Blutmasse macht demzufolge von der linken nach der rechten Herzkammer unten herum

*) Ueber die Flüssigkeitsbewegung in einem, dem Adernnetz ähnlichen Gefässnetz hat s. Z. Dr. Roux höchst lehrreiche Versuche angestellt, siehe Jenaische Zeitschr. f. Nat.-Wissenschaften 1878, sowie auch den darauf Bezug nehmenden Vortrag von Ingenieur Hertel, Z. d. V. D. Ingenieure 1885, S. 660.

**) Nach Kollmanns „Mechanik des menschl. Körpers“, München 1874.

und von da wieder nach der linken Kammer oben herum einen Kreislauf (beim Menschen in etwa 23 Sekunden) durch das Netz. Dabei geht es durch die Arterien *a* zu dem Haarröhrchennetz *K* aller Körpertheile, gibt daselbst Sauerstoff ab und nimmt Kohlensäure auf. Darauf wird es durch die Venen *v* und das Herz *H* hindurch in das Gefässnetz *L* der Lungen getrieben, nimmt daselbst frischen Sauerstoff auf und gibt Kohlensäure und Wasser ab, und gelangt so, zu neuer Ernährungsthätigkeit vorbereitet, wieder an die Ausgangsstelle. Beide Pumpen haben, wie die Figur deutlich macht, je ein Saugventil und ein Druck- oder Steigventil.

Thilo gibt a. a. O. dazu die folgende Erläuterung: „In der frühesten Jugend fehlen selbst den höheren Thierarten die Herzklappen, da das Herz im Stande ist, den Blutkreislauf ausschliesslich durch Muskelkräfte ohne Ventile zu bewirken. Mit zunehmendem Alter jedoch werden die Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Herzmuskeln immer grösser, und daher wird ihnen ein Theil ihrer Arbeit“ — vergl. oben den Kraftschluss — „durch Sperrvorrichtungen, d. i. durch die Herzklappen abgenommen, die sich aus Falten der Gefässwandungen entwickeln und allmählich zu taschenförmigen Ventilen auswachsen. Sie verhindern ohne jegliche Muskelanstrengung“ — nämlich paarschlüssig — „die Rückströmung des Blutes. Denselben Zweck haben auch jene Klappen, welche in den Saugadern oft sehr zahlreich vorkommen.“

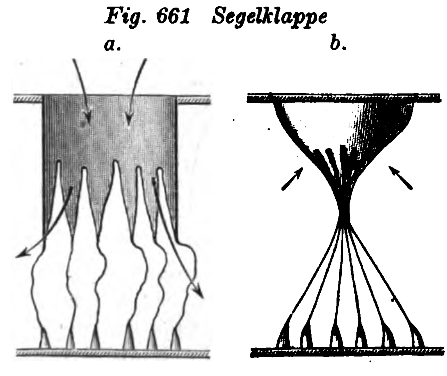
„Die Saugadern sind dünnwandig und besitzen nicht jene starke Muskulatur, mit deren Hülfe die Schlagadern den Blutkreislauf befördern. Sie bedürfen aber auch nicht dieser Muskulatur, denn sehr zahlreiche Klappen verhindern das Rückströmen des Blutes. Wir sehen also, dass beim schwachen Strome und geringen Drucke des Venenblutes zahlreiche Klappen erforderlich sind, um die Rückströmung des Blutes und Blutsaugungen zu verhindern. Hieraus erklärt sich wohl auch die Thatsache, dass an den Herzen so vieler Fischarten die Klappen so zahlreich sind. Man findet z. B. bei einigen Knorpelfischen gegen zwanzig Herzklappen. Diese grosse Zahl von Klappen ist gewiss sehr auffallend, wenn man erwägt, dass an den Schlagadern des menschlichen Herzens nur drei Klappen vorkommen“ — es sind drei Theile eines einzigen Ventiles — „welche freilich vortrefflich schliessen.“

In Betreff der vorstehenden Bemerkung wird jedesmal zu beachten sein, ob die Klappen über- oder nebeneinander liegen, in welch letzterem Falle sie ja nur ein einziges Ventil bilden. In der That sind die Venenklappen nicht als übereinanderliegend anzusehen, da sie nicht den Hauptstrang selbst, sondern nur (fast) alle Nebenstränge von dem Hauptkanal absperren, sobald in letzterem Druck entsteht. Solche zusammengesetzte oder „mehrfache“ Ventile wendet der Maschinenbau auch bei sehr hohem

Wasserdruck sehr häufig an, um grossen Durchflussquerschnitt und deshalb geringen Hub der Sperrer zu erzielen*). Der Maschinenbauer betrachtet indessen stets ein solches, manchmal bis zu 50 kleine Einzelsperrer in sich fassendes Ventil als eine Einheit. Gehen wir nun zu den so überaus merkwürdig gebauten Klappen des Wirbelthierherzens über.

5. Beispiel. Die Eintritts- oder Saugventile beider Herzkammern sind sog. Segelklappen. Fig. 661 stellt eine solche schematisch dar, unter a in geöffnetem, unter b in geschlossenem Zustand. Ein häutiger Mantel, der der Rohrwand mit seinem Rande ringsum fest angewachsen ist, weiter ab in fransige Zipfel übergeht, die mit festen Sehnenfäden an sog. Warzenmuskeln hängen, bildet, wenn zusammengelegt, den Verschluss. Die Warzenschnüre hindern wirksam das Durchschlagen des Mantels bei dessen 100 000 täglichen Schliessungen. Die Segelklappe der linken Herzkammer hat drei grössere Flatschen, genannt Segel, die der rechten Kammer deren zwei, beide für die Sehnenfäden ausgefranst.

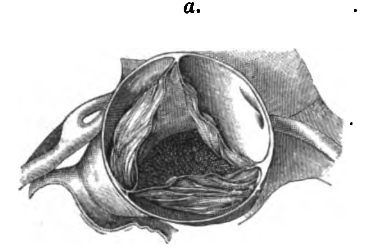
Fig. 661 Segelklappe



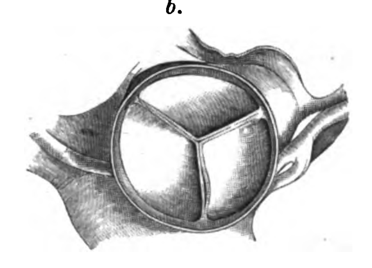
6. Beispiel. Die Ausströmungs- oder Steigventile sind in dem Augenblick ihres Schlusses durch die, von den elastischen Gefässwänden zurückgeworfene Blutwelle einem weit stärkeren Druck ausgesetzt, als die Saugklappen. Dies scheint ihre von der vorigen abweichende Bauart bedingt zu haben. Sie sind gebaut, wie Fig. 662 (nach Kollmann) versinnlicht. Man

Fig. 662 Halbmond- oder Taschenklappe

a.



b.



nennt sie, wie erwähnt, Halbmondklappen, auch Taschenklappen. Unter a ist eine solche Klappe offen, unter b geschlossen dargestellt, beidemal von der Druckseite her. Sie wird gebildet aus drei taschenförmigen sehnigen Haut-

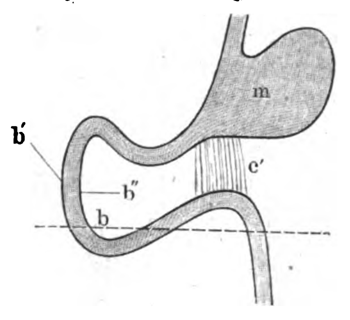
---

*) S. Konstrukteur IV. Aufl. S. 1112 ff.

säckchen, die sich fest gegenander legen oder stemmen, wenn das Blut mit Ueberdruck in das Innere der Säckchen hineindrängt).*

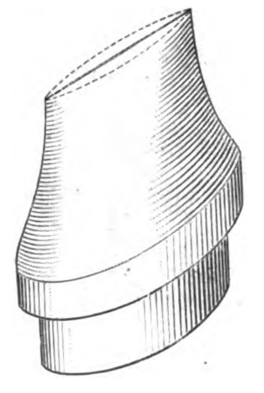
*7. Beispiel. Zu den Gesperren aus bildsamen Elementen gehört auch das flüssige Ventil, als das Dr. Colyer den Zwölffingerdarm (Duodenum) in dem wichtigsten Theil seines Verlaufes erkannt hat**). Dieser Darm, der vom Magen m, Fig. 663, ausgeht, ist mit seinem letzten Viertel durch ein Faserband c' mit dem Magen so verbunden, dass er vor Erreichung dieser Stelle eine Krümmung nach unten erhält. In dieser steht bei gesunden Verhältnissen immer Flüssigkeit b, indem bei b' und b'' Leber und Bauchspeicheldrüse ihre Zugänge haben. So entsteht denn ein Dükerventil (vergl. S. 595), das die von unter her aufsteigenden Gase verhindert, in den Magen überzutreten. Bei den Vögeln ist der absteigende Bogen nach Colyer besonders tief. — Ein anderes, aber klappenförmiges Gesperre im Eingeweide ist die Blinddarmklappe (valvula coli), die den Rücktritt des Dickdarminhaltes in den Dünndarm bei gesunden Verhältnissen unmöglich macht.*

Fig. 663 Zwölffingerdarm



Recht eigentliche Klappenverschlüsse, was die Form angeht, weisen die zweischaligen Muscheln auf. Diese Verschlüsse gehören aber nicht zu jenen, durch innere oder latente Kräfte der Mechanismentheile wirkenden Gesperre (man vergleiche nochmals Bd. I S. 34 ff.), sondern sie sind, wie die meisten der vorhin erwähnten Sphinkter, kraftschlüssig. Bekannt ist, ein wie mächtiger Muskel dem Thier mitgegeben ist, um durch die vom Willen geleitete Kraft seine Haushälften zusammenhalten zu können.


Fig. 664 Prideaux s Klappe



*) Anfangs der 60er Jahre versuchte Prideaux ein den Herzklappen nachgebildetes Hubventil in die Pumpenpraxis einzuführen. Es war aus Kautschuk gefertigt und hatte die in Fig. 664 skizzirte Form; der von unten eingetriebene Strom öffnete das Ventil in einem schmalen Spalt, wie punktirt angedeutet. Die Vermuthung, dass das Ventil nicht „schlagen" werde, bestätigte sich nicht. Dies hätte ja auch aus dem Herzschlag, der doch keineswegs unbedeutend ist, geschlossen werden können. Das Schlagen der Ventile hängt bekanntlich nicht von deren Form ab (s. Konstrukteur IV. Aufl. S. 1119).

**) S. Lancet 1887, wiedergegeben in Sc. Am. Supplement vom 1. Oktober 1887.

§. 125

Zur Fortbewegung der Thiere

Wir haben bis dahin die natürlichen Mechanismen und kinematischen Verkettungen nur am und im Thier selbst betrachtet. Die Fortbewegung des letzteren dagegen, d. h. sein örtliches Verhalten zur Aussenwelt, haben wir nur nebenbei berührt. In Kürze müssen wir hier noch darauf zurückkommen, da es sich auch hier um „Treiben" und zwar mit den Mechanismen des Thiers handelt.

Alles Fortbewegen des natürlichen lebenden Geschöpfes in dem von ihm berührten Gebiet, also des Fisches im Wasser, des Vogels oder Kerbthiers in der Luft, des gehenden, kriechenden, springenden, laufenden Geschöpfs auf der Erde, geschehen unter Bewegung hin- und hergehender Theile, da die fortdrehenden, wie wir sahen, hier ausgeschlossen sind. Dies der grosse Unterschied zwischen den mechanischen Mitteln der Thiere und denen der menschlichen Schöpfung Maschine, ein Unterschied, der sehr oft, namentlich vom Standpunkt des Laien aus übersehen wird, der aber die Uebertragung vom Einen aufs Andere ebenso oft unthunlich macht.

Hierzu kommen als unlösbare Gegensätze noch andere Umstände hinzu. Das Fliegen, das dem Vogel so leicht wird, namentlich in den ganz hoch gelegenen Luftschichten, ist dem natürlichen Menschen versagt durch sein Gewicht, ebenso die leichte Fortbewegung unter dem Wasser durch sein Gewicht noch weniger, als durch seine, auf das Athmen angewiesene Körpereinrichtung. Die Nachahmung der Flieger in ihren Schwingen hat man immer wieder aufgeben müssen und ist zu dem, der Maschine ureigenen Vorzug der Fortdrehung stets wieder zurückgekehrt. Die Bewegung in und auf dem Wasser vollzieht das Thier mit Kurventrieb, wesentlich aber nur deshalb besonders leicht, weil es unter dem Wasserspiegel ausdauern kann. An Schnelle aber ist es nun auf der Oberfläche des Wassers soviel wie erreicht durch die Fortdrehungsmaschine. Im Laufen auf der Erde hat sogar die menschliche Erfindung Maschine vermöge deren Fortdrehung die auf Schwingungsbewegung angewiesene Welt der Wirbelthiere völlig, und manchmal recht weit überholt, wenigstens auf gebahnten Wegen, von der Lokomotive herab zum Kraftwagen und zum Fahrrad.

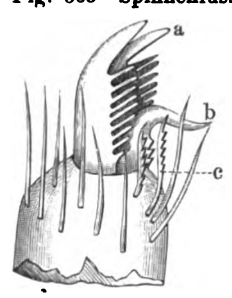
§. 126

Gestaltung im und durch den Thierkörper

Wir erkannten oben, §. 104 ff., die gestaltende Thätigkeit der Maschine als dahin bestimmbar, dass der zu gestaltende Körper, das „Werkstück", als Glied oder Getriebstheil in die Maschine eintritt und ihr als solcher angehört, wenn die zu bewirkende Umformung an ihm vollzogen wird. Dieselbe Begriffsbestimmung wird auch hier anwendbar sein. Legen wir sie als Mafsstab an, so bemerken wir, dass nur eine kleine Anzahl von Fällen als solche aufzuführen sein wird, in denen der Thierkörper zwangläufig die Gestaltung bewirkt. Die schon oben, S. 749, erwähnte Erzeugung von Fäden ist in erster Linie zu nennen; daran reihen sich noch einige andere Arten der Ausstossung von Stoffen aus dem Thierkörper.

Von diesen Gestaltungen sind gänzlich zu trennen diejenigen, die die Thiere mit ihren Gliedmafsen an Körpern ihrer Aussenwelt vornehmen und die namentlich bei den Kerbthieren oft so bewunderungswürdig sind, auch die merkwürdigsten Arbeitsmittel erheischen. Denn wer müsste nicht staunen über den Spinnenfuss, Fig. 665, der den aus dem Vorrathshalter (S. 749) entnommenen Faden zuerst mit den beiden Kammklauen *a* strählt und dann mit den Sägenblatt-Borsten glättet, beim Gehen aber diese feinen Werkzeuge schont, indem er mit der Trittklaue *b* allein den Weg berührt*). Zu vergleichen ist diese Thätigkeit der Thiere unmittelbar mit dem, von der Technologie lehrhaft geordneten Thun des Menschen. Bei den Thieren tritt uns hier eine Fülle von Leistungen entgegen: für die Herstellung, wie den Ausbau ihrer Wohnstätten, für den Bau der Winterschlafhüllen, für Bau und Benutzung von Vorrathskammern, für Jagdveranstaltungen wie bei den Spinnen, sodann für die Unterbringung der unreifen Brut wie beim Skarabäus mit dessen Düngerbomben, oder bei der

Fig. 665 Spinnenfuss



*) S. Grabers „Werkzeuge usw." II S. 201.

Polsterbiene (Megochile) mit ihren Blattrollen aus kreisrund geschnittenen Blattstücken usw. usw.

Die Aehnlichkeit mit unsrer Handarbeitsweise ist auffallend und klar, auch darin, dass mit Ueberlegung und vielförmigen Willensäusserungen geschafft wird. Gegen letztere treten die einförmigen kinematischen Gesetze zurück, ganz so wie bei der menschlichen Handarbeit. Man beschreibt diese Thierthätigkeit üblicher Weise bei der Schilderung des Lebens der verschiedenen Thiergattungen. Es liesse sich auch eine zusammenfassende Lehre von denselben aufstellen. Das wäre aber dann nicht eine „Technologie“, da wir nicht das Schaffen der Thiere andern Thieren beibringen können, sondern es selbst erst forschend kennen lernen wollen; es wäre also eine „Technognosie“ des Thierreichs. Eine solche könnte durch die Gemeinsamkeit gewisser Ausgangspunkte und durch die sich bietenden Vergleichungen wohl ganz nützlich werden. In die Kinematik aber fällt sie nicht hinein.

§. 127

Die Muskelkraft

Die unendlich mühevolle Forschung nach der Art und Weise, wie das, in Nährstoff-Form aufgenommene Arbeitsvermögen in die nach aussen abgegebene Arbeit umgesetzt wird, hat zu der Ansicht geführt, dass die thierische Kraftmaschine höchst wahrscheinlich ein Beispiel einer reich gegliederten und wirkungsvollen chemisch-dynamischen Maschine ist*). Diese Maschine wirkt nach aussen vermittelst der Muskeln, die ihrerseits durch Nervenbeeinflussung zum Wirken veranlasst werden. Dass der Nerveneinfluss elektrischer Natur ist, weist die Beobachtung deutlich nach; die Arbeitsschaffung in den Muskeln ist dagegen noch immer in Dunkel gehüllt. Wesentlich

*) Eine die theoretischen Ergebnisse der bisherigen Forschung zusammenfassende Arbeit des Professors Thurston, Direktors der Sybley-College an der Cornell-Universität im Staate Neuyork, ist in der Zeitschrift des Franklin-Institutes Januar-März 1891 erschienen, sodann von Thurston selbst in etwas verkürzter Form 1894 in der Zeitschrift „Science“ wiedergegeben worden. Eine Uebersetzung dieser Wiedergabe und einem eignen Nachtrag dazu hat der Verfasser im Prometheus 1895 in den Nummern 300 bis 302 gebracht; hierauf sei wegen der Einzelheiten verwiesen.



einstimmig nehmen die Physiologen aber an, dass die Freisetzung der Arbeit in der Muskelmasse selbst, insbesondere in deren Gewebezellen vor sich geht, und zwar geht sie „explosiv“ vor sich, oder entspricht, wie wir gemäſs §. 90 sagen, der Auslösung eines Spannwerkes. Man hat den Vorgang der Muskelthätigkeit mit dem elektrischen Abfeuern — „Wegthun“ sagt der Bergmann — einer Sprengladung im Bergwerk verglichen, das durch den Leitungsdraht (diesmal einen Nerv) vermittelt wird und durch die Umwandlung starrer Stoffe in Gase eine mächtige Wirkung durch deren Ausdehnung ausübt.

Man kann also sagen, dass die Natur im Muskelgewebe durch das Mittel der Ernährung chemische Spannwerke bilde, die zu Zeiten durch einen elektrischen Nervenstrom ausgelöst werden. Mit dieser begrifflichen Zusammenfassung ist, wenigstens der Ausdrucksform nach, vielleicht etwas gewonnen, zum mindesten die Plötzlichkeit der Wirkung in die Erscheinungsformen des Zwanglaufes eingereiht. Dass wir diese Plötzlichkeit „explosiv“ nennen, in unsrer wie in anderen Sprachen, hemmt auf den ersten Anlauf ein wenig das Verständniss, indem wir bei „Explosion“, „Zerplatzung“, „Zerspringung“ an ein Auseinandertreiben, Auseinanderwerfen, ein Schleudern oder Stossen denken, während doch der Muskel sich in dem fraglichen Falle im Gegentheil verkürzt und zwar mit ganz beträchtlicher Kraft. Der vorher schlaffe, ein reines Zugelement oder Track darstellende Muskel steigert plötzlich die Zugkraft, die er auf seine Enden, Kopf und Schwanz ausübt, indem er an Längenausdehnung abnimmt. Nun aber kennt die technische Mechanik bezüglich der Kräfte, die ein Track, sei es Seil, Draht, Kette, Riemen usw. auf seine beiden Enden ausübt, nur das Eine, dass eine Steigerung ihres Zuges nur dann eintritt, wenn sie verlängert werden. Ein Eisendraht, den man nur um $^1/_{1000}$ seiner Länge streckt, übt auf jeden qmm seines Querschnittes einen Zug von 20 kg aus; bei Verkürzung drückt er im Gegentheil ebenso stark zurück. Hier beim Muskel findet dagegen Zugausübung statt, während er sich verkürzt. Das widerspricht dem Anschein nach allen, durch Versuche begründeten Anschauungen des Ingenieurs, es widerspricht dem Hooke'schen Grundgesetz der Festigkeitslehre, einem echten Naturgesetz. Dieses Gesetz findet der Ingenieur überall bestätigt — — — es müsste denn der auf S. 205 erwähnte Zwischenfall bei den Seilen von Fontanas Obelisken-Aufrichtung dagegen angeführt werden.

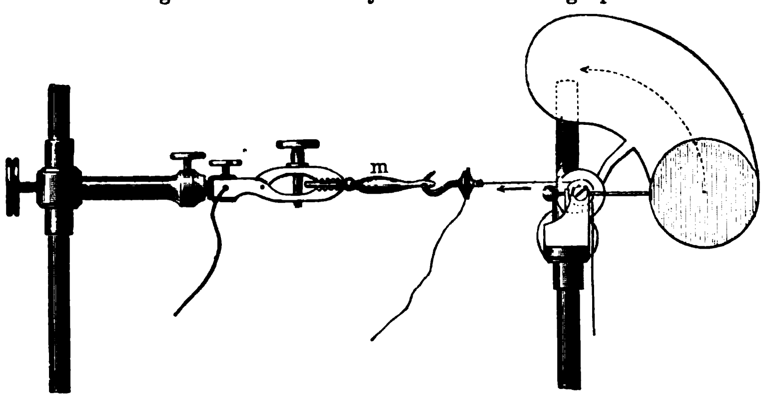
Ehe wir diesem Widerspruch nachspüren, wird es nöthig sein, die mechanischen, äusseren Wirkungen des Muskels näher anzusehen. Dieselben sind durch die glänzenden Arbeiten von Du Bois-Reymond, Helmholtz und Andern schon vor einem Menschenalter sehr weit aufgeklärt worden und sind heute den Physiologen geläufig.

Zwei getrennte Erscheinungsreihen haben diese Beobachter festgestellt, die eine stellt die Wirkungen des elektrischen Schlages, die andere die des dauernden elektrischen Stromes auf den Muskel dar.

Zur Ersichtlichmachung der Schlagwirkungen dient in vorzüglicher Weise Du Bois' bekannter Muskeltelegraph, den Fig. 666 *) vor Augen führt. „Der Muskel wird in einer Klemme befestigt;



Fig. 666 Du Bois Reymonds Muskeltelegraph

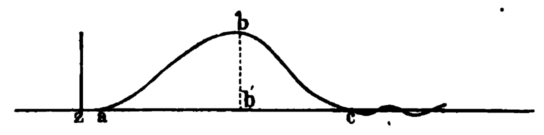


sein anderes Ende wird durch einen Haken mit einem Faden verbunden, welcher auf eine Rolle läuft. Die Rolle trägt einen langen Zeiger, und an diesem ist eine gefärbte Scheibe befestigt. Verkürzt sich der Muskel, so dreht er die Rolle und hebt die Scheibe, was selbst in grosser Entfernung leicht sichtbar ist. Ein um eine zweite Rolle geschlungener zweiter Faden trägt einen Eimer von Messingblech, der mit Schrotkörnern gefüllt werden kann, um den Muskel mehr oder weniger zu belasten.“ Der durch die Leitung und den Muskel *m* geführte elektrische Schlag oder Reiz hat zur Folge, dass der Muskel sich verkürzt

*) Aus Rosenthals Allg. Physiologie der Muskeln und Nerven, Leipzig 1877.

und darauf wieder seine ursprüngliche Länge annimmt. Dieser Vorgang wird eine „Zuckung“ genannt. Eine solche hat man die Vorrichtung zeichnerisch darstellen lassen, indem man mit dem Haken einen feinen Stift verband, der auf einer schnell vorbei geführten berussten Glasfläche während der Zuckung eine Kurve zeichnet. Fig. 667 stellt eine derartige Kurve*) dar. Un-

Fig. 667 *Zuckungskurve*



mittelbar nach der elektrischen Reizung ist noch keine Wirkung da; d. h. während der Dauer der Schiebung *za* auf der in der Richtung *cz* bewegten Glasfläche ändert der Muskel seine Länge noch nicht. Dann aber verkürzt er sich mit anfänglich beschleunigter, später verzögerter Bewegung bis zum Ausschlag *b'b* und kehrt darauf wieder in seine Anfangslage zurück.

Die ganze Zuckung verläuft in $^1/_{10}$ bis $^1/_6$ Sekunde; die Stillstandszeit, die durch *za* gemessen wird, ist ziemlich genau $^1/_{100}$ Sekunde. Während der Verkürzung wird der Muskel in seiner mittleren Erstreckung — im Bauch, wie man es nennt — dicker, schwillt an, hat aber die Anschwellung bei seiner Rückkehr in die Anfangsstellung wieder verloren.

Dies ist in ganz kurzen Zügen der äussere Vorgang, den die nur augenblickliche Reizung hervorruft. Anders die dauernde Anregung. Lässt man einen elektrischen Strom dauernd den Muskel durchlaufen, so zieht dieser sich alsbald zusammen, aber weniger als beim elektrischen Schlage, und bleibt dann verkürzt und auch verdickt; lässt man den Strom aufhören, so nimmt der Muskel seine ursprüngliche Länge und Dünne wieder an. Seinen Zustand während der Durchströmung nennen die Physiologen einen „Tetanus“, was mit Starre, Erstarrung, Starrkrampf wiedergegeben werden könnte. Für unsre, auf Gemeinfasslichkeit gerichtete Darstellung können wir eine, mehr der gewöhnlichen Sprache angehörige Benennung wählen. Wir können sagen, dass der Muskel „stramm“ wird. In der That bezeichnet „stramm“ sehr genau den Zustand des zusammengezogenen Muskels. Das

*) Ebenfalls nach Rosenthal a. a. O.

bekannte, ja berühmte Strammstehen des Soldaten in Reih' und Glied ist nichts Anderes, als das durch die Nerventelegraphie eingeleitete und anhaltend gemachte Verkürzen der Muskeln. Gegenüber der Bezeichnung „Zuckung“, des Vorgangs, die auf die schlagende Reizung folgt, hätten wir für das Stramm-Machen auch eine Bezeichnung zu wählen, um beide Folgewirkungen des Willens einander gegenüberstellen zu können. Dieselbe wird zu lauten haben: „Stremmung“, da das Transitivum zu stramm stremmen heisst*). Die Kraft, mit der der Muskel während seiner Stremmung zieht, ist durch physiologische Versuche recht genau gemessen worden. Man nimmt**) an, um es kurz anzudeuten, dass die Stremmung aus sehr rasch aufeinanderfolgenden Zuckungen bestehe, was sich u. a. darin zutreffend zeigt, dass der gestremmte Muskel in der Messvorrichtung geradezu einen Ton gibt, den sog. Muskelton. Zu bemerken ist dieser auch am lebenden Körper, obwohl weniger deutlich wegen der starken Ausleitung.

Betrachtet man nun das ganze mechanische Verhalten des Muskels gegenüber den elektrischen, sei es künstlichen, sei es natürlichen Reizungen — und es ist hinzuzufügen, dass chemische und einzelne mechanische eine verwandte Wirkung zeigen — so wird entschieden das Verlangen rege, noch etwas weiter auf die mechanische Verursachung (vergl. S. 1) eingehen zu können. Die physiologische Forschung ist an dem Punkte der schlagartigen, „explosiven“ Wirkung des Muskelinhaltes wesentlich stehen, oder richtiger in derselben Richtung thätig geblieben, derjenigen Richtung, die die gegenseitige „Anziehung“ der Muskelbestandtheile zu ergründen strebt. Die Kraft, mit der dieselbe wirkt, ist nicht klein; beträgt sie doch beim Frosch 28 bis 30 g auf 1 qmm, und beim menschlichen Oberarmmuskel, Fig. 668***) (a. f. S.) 6 bis 8 kg. Ein Versuch, einen kleinen Schritt weiter zu kommen, ohne zu dieser räthselhaften und so vereinzelt dastehenden gewaltigen Anziehung greifen zu müssen, könnte indessen immerhin noch gewagt werden, damit wenigstens die Mittel, mit dem alten Gesetz auszukommen, erschöpft werden.

---

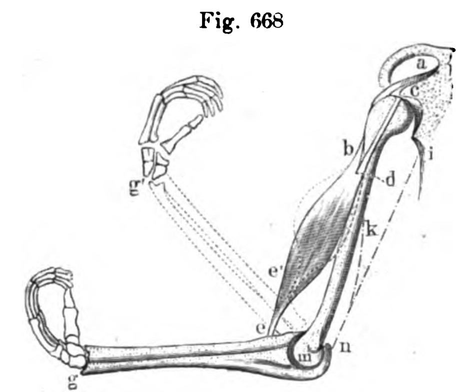
*) Dies ist nicht etwa eine Neubildung, sondern eine ältere, landschaftlich im Gebrauch gebliebene Form, s. Weigand, Deutsches W. B. Bd. II S. 830 und 836.

**) Mit Helmholtz.

***) Nach Grabers „Werkzeugen usw.“

Hierbei wird auf die Fontana'schen Seile mehr Werth gelegt werden müssen, als vielfach oder meist geschieht. Zwar wurden dieselben weder elektrisch durchschlagen, noch elektrisch durchströmt, sondern einfach tüchtig nass gemacht, worauf sie sich verkürzten und zugleich stärker zogen als vorher. Das widerspricht aber dem Hooke'schen Gesetz nicht, weil das Hanfseil kein einfacher Stab ist, sondern aus sehr vielen Gefässen, langgestreckten Zellen von sehr fester Wandung besteht; diese füllten sich in Folge der Haarröhrchen-Anziehung mit Wasser; jedes Gefässchen strebte nach der Kugelform und zwang dadurch seine Längsenden, sich gegenseitig zu nähern. Wir haben also hier ein Gefässbündel vor uns, das sich unter Kraftwirkung und aus den bekannten mechanischen Ursachen verkürzt. Das sind zwei wichtige Punkte, von denen der erste die Aehnlichkeit des Muskels mit dem Seil, obwohl ihm dessen Schraubenwindungen fehlen, als wichtig erkennen lässt. Auch Du Bois sind Fontanas Seile aufgefallen; er besprach sie gelegentlich wegen der bedeutenden Wirkung der Haarröhrchenkraft.

Fig. 668



Diese letztere Kraft nun wirkt sehr langsam. Sie kann daher nicht die so überaus schnell vor sich gehende Muskelkürzung herbeiführen. Wohl aber ist das bei ihr in Betracht kommende Bestreben dehnbarer, schlanker Gefässe, bei zunehmendem, räumlichem Inhalt kürzer zu werden, beachtenswerth. Hat nämlich der Muskel bei einer Verkürzung an räumlichem Inhalt zugenommen, was noch nicht genügend genau untersucht zu sein scheint, so würde dies seine Kraftäusserung bei Verkürzung erklären.

Fest steht eine starke Erzeugung von Wasser, oder allgemeiner von Flüssigkeit im Muskel bei Zuckung wie bei Stremmung. Es scheint möglich, dass diese Flüssigkeit einen grösseren Raum beansprucht, als die körnerigen Stoffe, theils Eiweisskörper, theils Glykogen, aus welchen sie entstanden ist. Sollten Be-

obachtungen das bestätigen, so wäre damit eine mechanische Erklärung der so auffallenden beiden Erscheinungsreihen am Muskel erzielt. Das Wasser ist dann nicht Nebenerzeugniss, sondern ein wichtiges Glied in der Kette der Verursachungen.

Betrachtet man, die Richtigkeit der Annahme einmal voraussetzend, die obige Fig. 667 noch einmal, so erkennt man in dem, durch die kleine Strecke $z\,a$ messbaren Abschnittchen die Zeit, die erforderlich ist, um die chemische Umwandlung des Glykogens und der Eiweisskörper einzuleiten. Rasch füllt sich dann der feine Muskelschlauch mit Flüssigkeit, wird dadurch erweitert und muss sich nun wegen der länglichen Gestalt seiner Höhlungen verkürzen. Die Kurve in Fig. 667 hat den allgemeinen Verlauf einer Sinuslinie oder Sinoide (vergl. S. 43). Hätte sie genau diese Form, so entspräche das gemäfs den Gesetzen der Mechanik einer Verkürzungskraft, die proportional dem Abstand des Muskelendes von seiner Gleichgewichtslage wäre; diese Lage ist ungefähr die bei der halben Höhe des Ausschlags $b'\,b$. Die herangezogenen Theile, Scheibe, Schroteimer usw. am Muskeltelegraphen (oder einem andern Kraftmesser, Myographen) sind bei dieser Mittellage in Bewegung und schwingen über die kraftlose Lage hinaus. Dabei verkürzt sich der Muskel noch mehr, leistet aber nun wegen der Zusammenpressung seines flüssigen Inhaltes wirklichen Druckwiderstand, sodass nun, selbst ohne Belastung des Fadens, Zurückschwingung beginnen muss.

Auch die Stremmung würde auf dem eingeschlagenen Wege Erklärung finden. Der dauernde Strom, der nach Helmholtzens Erläuterung so reizt, dass er eine Reihe von Zuckungen bewirkt, riefe dann eine entsprechende Reihe von Umsetzungen hervor. Das Stehenbleiben des Muskels in der strammen Lage würde dann voraussetzen, dass durch die gespannten Wandungen des Muskelschlauches in feinen Zuckungen Flüssigkeit nach aussen träte, was den Beobachtungen nach auch wahrscheinlich ist. Diese Ausströmung, zusammengenommen mit der allmählichen Abschwächung der Stromwirkung auf den sich allmählich entleerenden Muskel zeigt, dass es sich hier nicht um ein solches Spannwerk handelt, das wie der Flitzbogen mit einemmal das ganze aufgesammelte Arbeitsvermögen abgibt, sondern dass die Abgebung mit Unterbrechungen ausgelöst wird, zwischen denen der Arbeitsaustritt wieder gehemmt wird. Das ist aber genau das Verhalten bei dem Hemmwerk (s. §. 96 ff.). Hiernach wäre

denn der Mechanismus des getrennten Muskels der eines chemisch-mechanischen Hemmwerks, Zuckung wäre also = Spannwerks-, und Stremmung = Hemmwerksthätigkeit.

Jedes einzelne kleine Stück Ablauf im Muskel-Hemmwerk kann dabei die bei der Zuckung hervorgehobene Plötzlichkeit beibehalten und diese kleinen Abläufe können in grosser Zahl aufeinander folgen und ihre kleinen Arbeitsaufwände auf die Durchdringung der sich stets wieder schliessenden Spalten der Schlauchwandungen verwenden müssen. Sie werden dann aber, bloss um die Stremmung zu erhalten, das Arbeitsvermögen des Muskels erschöpfen können, sogar bis zum völligen Verbrauch der zu schmelzenden Körper im Muskelschlauch, ohne dass nach aussen mechanische Arbeit zum Vorschein kommt, oder, nach dem jetzt üblichen Fachausdruck, potentielle Energie in kinetische Energie umgesetzt wird. Mir scheint, dass mit der Theorie von der Anziehung der Muskelinhalts-Theilchen diese arbeitslose Kraftverzehrung sich kaum erklären lässt.

Die Ermüdung der Armmuskeln, die eine Last bloss schwebend halten, ist als das Ergebniss des erwähnten Ablaufs des Hemmwerkes, als das der gestremmte Muskel zu betrachten wäre, anzusehen. Das Schreiten des eine Last tragenden Menschen auf vollkommen waagerechter Bahn, z. B. das Marschiren des bepackten Soldaten, übt auf die Last gar keine mechanische Arbeit aus; die Last wird nicht gehoben, sondern bewegt sich in gleichförmigem Beharrungszustand fort, selbst auch bei Anrechnung der welligen Form der Fortbewegungslinie. Dennoch ermüdet diese Fortbewegung den Träger, weil er stets für die, der Last entgegenzusetzende Stremmung von dem, in seinen Muskelmassen enthaltenen Arbeitsvermögen Gebrauch und Verbrauch machen muss, und dasselbe auch ganz aufzehrt, wenn nicht Nachschub durch Ernährung stattfindet. Dieser Verbrauch ist die Ermüdung. Der Träger ermüdet, selbst wenn er auf glatter Schienenbahn gefahren wird, aber stehend die Last tragen muss, da hierdurch sein Muskelhemmwerk für die Stremmung abzulaufen gezwungen wird. Das „Rührt euch!“ der Soldaten ist nothwendig, weil es dem Mann wieder ermöglicht, aus der Nährhaltung dem Muskelhemmwerk wieder Arbeitsvermögen in Form frischer Glykogenmassen und Eiweisskörper zukommen zu lassen).*

Lassen sich nun die Dinge hypothetisch so ansehen wie eben geschildert, so fehlt uns noch der in die kinematische Form gebrachte Modellversuch.

*) An der landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin sind auf Veranlassung des Kriegsministers grössere Versuchsreihen dieserwegen ins Werk gesetzt worden. S. den „vorläufigen Bericht“ von Dr. Zuntz und Dr. Schumburg „Ueber die Gewinnung physiol. Merkmale f. d. zulässige Belastung der Soldaten auf Märschen“, Berlin 1895. Ausführlicher Bericht steht noch aus.



Ich habe denselben wie folgt angestellt. Ein eiförmiger Gummischlauch, an beiden Enden in einen rohrförmigen Fortsatz auslaufend, ist mit diesem je einem gekrümmten Messingröhrchen aufgestreift, s. Fig. 669 (a. f. S.), das auf der Aussenseite seiner Krümmung einen Haken an sich trägt. Mit diesem wird das eine, sagen wir obere Röhrchen, an einen Ständer angehängt, der untere Haken aber mit einem Gewicht belastet. In dieser Vorrichtung haben wir dann die grobe Nachbildung eines Muskelschlauches vor uns. Statt der tropfbaren Flüssigkeit, die aus den chemisch geschmolzenen Bestandtheilen der Muskelfüllung entstanden wäre und Druck ausübt, wähle ich Luft. Diese wird in das obere oder Aufhängeröhrchen eingeblasen, kann aber durch das untere nur unter einem gewissen Druck ausströmen, indem die Oeffnung durch einen Stöpsel verengt ist. Das Belastungsgewicht hatte den Schlauch in die Länge gezogen, s. unter a; bläst man aber nun oben hinein, so nimmt er die Eigestalt wieder an und zieht das Gewicht entsprechend dieser Formänderung in die Höhe, s. unter b. Die Bewegung des Gewichtes erfolgt entgegen der Richtung des in den Schlauch tretenden Luftstromes.

Führt man mit kurzem Stoss Luft oben ein, so erhält man das Bild einer Muskel-„Zuckung"; das Gewicht hüpft auf und fällt zurück. Bläst man dagegen anhaltend, so hält man das Gewicht in der Schwebe, während am Stöpsel vorüber die Luft entweicht. Dieses Entweichen entspricht dem Austreten des wässerigen Fluds durch die Schlauchspältchen, das Ganze gibt ein Bild einer Muskel-„Stremmung".

In den grossen thierischen Muskeln sind Muskelfasern in grosser Zahl neben- und hintereinander zugleich thätig, alle der Speisung mit Nährstoff und dem Zutritt des Nervenstroms gleich zugänglich. Diese Vereinigung ermöglicht die grossen, unter bedeutender Kraftäusserung zurückgelegten Wege wie die beim obigen Armmuskel. Dies im Modell zu veranschaulichen, dient die Schlauchkette, Fig. 670 (a. f. S.). Aehnlich benutzt wie vorhin der einfache Schlauch, führt sie eine beträchtliche Hebung des Belastungsgewichtes vor Augen.

Noch ein dritter, eigenthümlicher Versuch lässt sich mit dem Schlauchmodell ausführen. An das untere Rohr schloss ich ein Gummiröhrchen an, dessen Ende ich durch ein inneres Metallröhrchen versteifte und nun senkrecht fest aufstellte, s. Fig. 671 (a. f. S.). Auf den Lippenrand des Röhrchens legte ich einen Klicker, der nun daselbst ein Ventil bildet, und zwar ein solches, das einem Sicherheitsventil völlig entspricht. Bläst man nun wieder Luft oben ein, so entsteht im Schlauch keine grössere Spannung, als diejenige ist, die das Sicherheitsventil eben hebt. Letzteres lässt aber dann sofort eine Menge Luft austreten, sodass das Ventil alsbald wieder fällt. So kommt es denn in eine tänzelnde Bewegung, die ja an solchen Ventilen bekannt ist. Diese Bewegung entspricht grundsätzlich dem Wesen eines Tons. Mit andern Worten, sie stellt Helmholtzens Muskelton einigermaassen vor. Abweichend von dessen Erklärung des Muskeltons als aus rasch sich folgenden Nervenanstössen hervorgehend, würde er sich hier als aus einer Folge von Ausstössen der Fludmasse ergeben. Man hätte sich etwa zu denken, dass ventilartig wirkende Häutchen nachgäben und sich wieder anlegten, um dem Flud stossweis einen Austritt zu gestatten.

Fig. 669 Kinematisches Muskelmodell

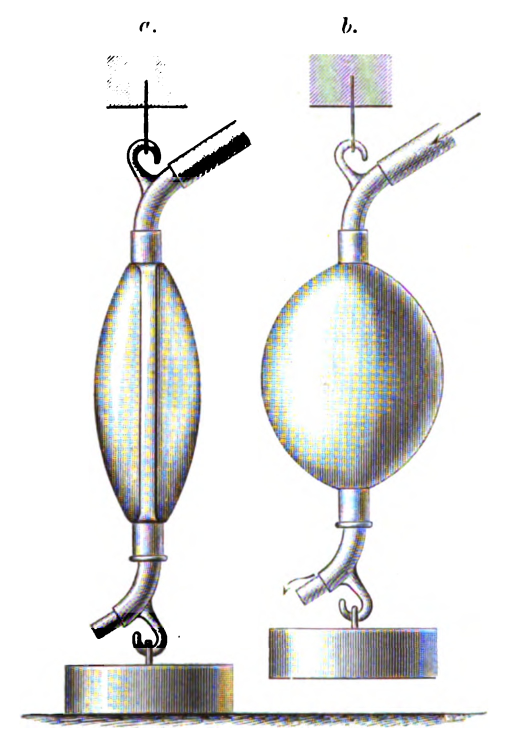


Fig. 670 Muskelschlauch-Kette

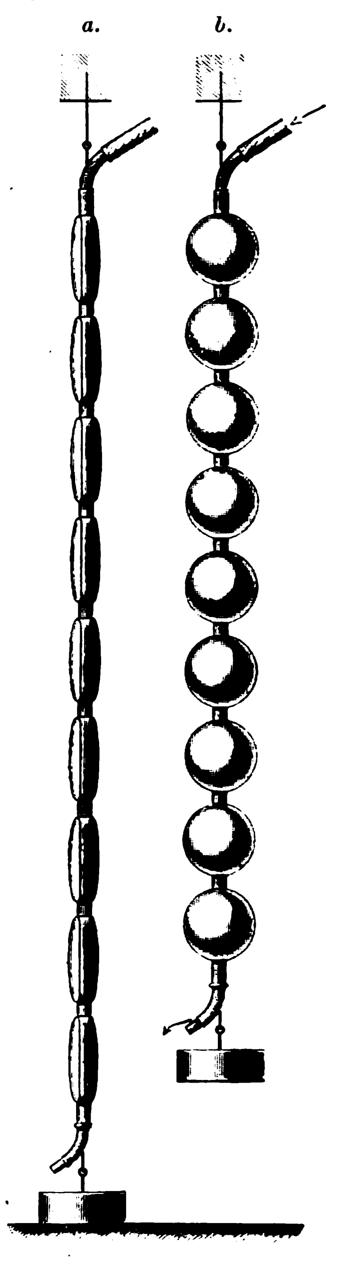
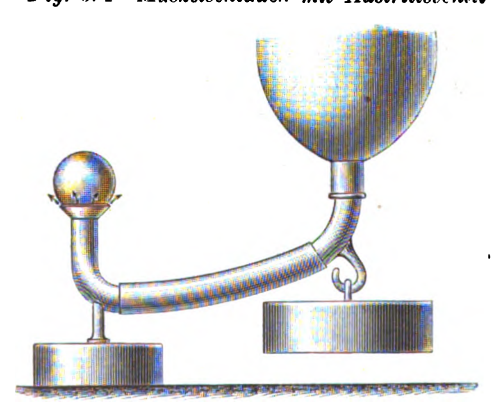


Fig. 671 Muskelschlauch mit Austrittsventil



Die ganze Hypothese hat etwas Verlockendes, weil sie zwanglos den Kreis der Erscheinungen erklären könnte. Es sei hiermit vorgeschlagen, den wichtigen Vordersatz von dem Verhalten der Füllmasse des Muskelschlauches der schwierigen, noch erforderlichen Untersuchung, da dieselbe noch nicht gemacht scheint, zu unterwerfen.

Es bleibt noch die Frage übrig, was denn der vorgerichtete, mit Aus- und Eintrittsröhren versehene Schlauch kinematisch vorstelle. In der That ist das etwas nicht Unwichtiges. Der Schlauch ist ein Zugelement oder Track, die Luft, die in Spannung eingeführt wird, ein Druckelement oder Flud. Beide Stücke werden aber hier regelrecht gepaart, bilden in ihrer Zusammenwirkung ein Elementenpaar. Wir sahen weiter oben, S. 158, dass Zugelement und Druckelement gepaart werden können und in ihrer Paarung benutzt werden. Die vorliegende Elementenpaarung ist aber in der Maschinentechnik neu. Nur Aehnliches, nicht aber Gleiches, ist vorhanden. Aehnlich ist die Paarung zwischen gasförmigem Flud und einer nachgiebigen Hülle in dem Wellenplatten-Manometer, das früher einigermafsen im Gebrauch war*), auch in der Form, die Mayrhofer zum Uhrenbetrieb anwandte und die auch für die Luftdruckbremsen in Form von kupfernen Wellplatten-Dosen benutzt worden ist. In allen diesen Fällen bildete die nachgiebige elastische Metallhülle aber den „Kolben“, den „Anschluss“ von Fludsäulen an starre Elemente (vergl. S. 716). Hier aber ist das nicht der Fall; das Zugelement zieht, das Druckelement drückt. Zufällig machte man von einer nah verwandten Einrichtung Anwendung bei Fontanas Seilen; aber auch hier lag nur Verwandtschaft, nicht Gleichheit vor, weil es sich um Haarröhrchen-Anziehung handelte. So ist denn das Track-Flud-Paar, wie wir es nennen können, etwas Neues. In der Zeichensprache ist es T, F zu schreiben; abkürzen könnte man das Symbol auf (T_f). Das Paar besteht für sich, auch ohne Anwendungen, wie jedes andere kinematische Elementenpaar. In der hypothetischen Muskelnachbildung oben ist es aber in eine kinematische Kette eingereiht, einmal ist diese ein Spannwerk, das anderemal, und zwar in den durchaus wichtigsten Fällen, ein Hemmwerk. Sollte sich die oben aufgestellte Hypothese bestätigen, so würde sich ergeben, dass dieses Hemmwerk durch das ganze Thierreich verbreitet ist und im Thierkörper eine unendlich wichtige Rolle spielt.

---

*) S. Weisbach-Herrmanns Masch.-Mechanik II 2, S. 44.

Schon lange kennt und erkennt man das Herz des Wirbelthiers als ein Pumpwerk. Unsre Muskelbesprechung hat gezeigt, dass dieses Pumpwerk betrieben wird durch ein Hemmwerk; beide zusammen bilden eine vollständige Maschine bis auf den Antrieb. Von diesem aber gilt noch als wichtige Eigenheit, dass die Stremmungen nicht vom Gehirn aus eingeleitet werden, jedenfalls nicht dem Willen unterworfen sind. Vielleicht besitzen sie eine eigene Reizquelle, da wir z. B. wissen, dass das anatomisch abgetrennte Froschherz noch stundenlang pulsirt, auch das ganz herausgeschnittene Herz eines gewaltsam getödteten Menschen noch einige Zeit fortfährt, rythmisch zu schlagen (s. Kollmann a. a. O.). Der Vorgang wird dem Vorhandensein von Knoten der „hemmenden" und der „beschleunigenden" Nerven in der Herzmasse zugeschrieben. Diese und eine Reihe anderer, vom Willen unabhängiger Bewegungen im Körper, die man unter dem Namen Reflexbewegungen zusammenfasst, stellen der anatomischen und physiologischen Forschung noch grosse Aufgaben mit weit hinausgerücktem Ziel. Dass Zwanglauf in den Reflexbewegungen eine wichtige Rolle spielt, ist aus deren Regelmässigkeit mit grosser Sicherheit zu entnehmen.

* *
*

Wir kommen zum Schluss. In der nun beendigten Studie hat sich gezeigt, dass Kinematik im Thierreich an zahllosen Stellen herrscht. Zunächst sind die kinematischen Elementenpaare, zumeist die niederen, dann aber auch verschiedene höhere, in den „Gelenken" der Thiere vertreten und lassen sich scharf bestimmen. Am meisten kommt das Cylinderpaar, am seltensten das Prismenpaar vor; merkwürdig ist das bisher unbeobachtet gebliebene Auftreten genauer Schraubenpaare am Käferkörper. „Ungeschlossene", sonst aber recht vollkommen gebaute kinematische Ketten finden sich gewöhnlich in den Gliedmafsen, „geschlossene" Ketten, von Kräften bewegt, also „Mechanismen", erweisen sich indessen auch als in beträchtlicher Artenzahl vorkommend. Der Anzahl nach am grossartigsten vertreten, zeigten sich endlich solche geschlossene Ketten, die von der Natur in regelmäfsigem, aber unwillkürlichem Betrieb erhalten werden, jene, das Leben selbst ergebenden Vorrichtungen. Sie sind also vollständige und gehende natürliche Maschinen und entsprechen, ebenso wie jede künstliche Maschine, in ihrem getrieblichen Bau den Gesetzen der Kinematik, insbesondere auch

unsrer Begriffsbestimmung der Maschine S. 274. Ihrer Gattungen sind nicht viele, wesentlich sind die Fludschaltwerke, betrieben durch rythmische Muskelschwingung. In Arten sind sie recht zahlreich, in Ausführungen aber geradezu unzählbar, und übertreffen in diesem Punkte die künstlichen Maschinen milliardenfach.

Die im Vorausgehenden ermittelte Gemeinsamkeit der Bauunterlagen für die natürlichen und die künstlichen Maschinen setzt die menschliche Maschinenschöpfung als solche in ein eigenes Licht. Nicht getrennt von der Natur oder gar gegensätzlich zu ihr, wie man es nennen hört, sondern bezüglich der Gesetze ihrer körperlichen Bildung im Einklang mit der Natur steht die Menschenschöpfung Maschine. Andererseits darf aber auch nicht, wie versucht werden könnte, die Folgerung gezogen werden, die künstlichen Maschinen seien in Nachahmung der Natur entstanden. Denn Jahrtausende hindurch machte der Mensch Maschinen und benutzte sie, ehe er zu versuchen im Stande war, in das Wesen der Bewegungsweise im Thierkörper einzudringen. Naturforschung aber und Maschinenwissenschaft können einander heute die Hand reichen zu einmüthiger Betrachtung grosser Theile ihrer beiderseitigen Gebiete.

NAMEN- UND SACHREGISTER

A

B

H

Druckfehler

S.	9 in Fig. 4a		lies:	M_b statt M_2.
„	13 Zeile	2 v. u.	lies:	Wilson statt Fergusson.
„	19 „	11 v. u.	„	$a' = -a$ statt $a' = a$.
„	44 „	15 v. o.	„	mittelsläufig statt mittelläufig.
„	46 „	18 v. u.	„	Ast statt Act.
„	56 in Fig. 4		„	ω_1 statt ω.
„	61 Zeile	15 v. u.	„	$\widehat{P'K}$ statt $\widehat{PK}$.
„	111 „	2 v. o.	„	zeichnen statt Zeichnen.
„	114 „	18 v. u.	„	Ferraris „ Ferrari.
„	126 „	5 v. o.	streiche:	und.
„	247 „	8 v. u.	lies:	begriff statt -griff.
„	312 „	1 v. u.	schiebe ein:	Supplement.
„	319 „	8 v. o.	lies:	beträchtliches statt beträchtiges.
„	324 „	4 v. o.	„	ihm statt ihnen.
„	332 „	2 v. u.	„	sein „ ein.
„	343 „	3 v. u.	„	1893 „ 1891.
„	421 Formel (44)		„	$-b$ „ $+b$.
„	421 „ „		„	ω „ w.
„	489 Zeile	4 v. o.	„	anschreiben statt anschrieben.
„	503 „	16 v. u.	„	$^1/_{15}$ statt $^2/_{15}$.
„	532 „	6 „ „	„	Todtlagen statt Todtlagern.
„	600 „	11 „ „	„	sieht statt steht.
„	641 „	9 „ „	„	Bezeichnung statt Beziehung.
„	683 „	4 v. o.	„	554 statt 542.
„	712 „	2 „ „	„	wirthschaftlichen statt wirthschaften.
„	742 „	14 „ „	„	627 statt 620.


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06817 3999

